

Chez le même éditeur

Réflexothérapie occipito-podale, par G. Boitout et J.-P. Vadala. 2015, 192 pages.

Posturologie clinique. Comprendre, évaluer, soulager les douleurs, par B. Weber, P. Villeneuve et Association de Posturologie Internationale. 2012, 224 pages.

Aide à l'examen du système nerveux périphérique, par le Comité directeur de la revue de neurologie Brain. 2^e édition, 2017, 80 pages.

Biomécanique de la colonne vertébrale, par P. Klein et al. 2009, 200 pages.

Biomécanique des membres inférieurs, par P. Klein et al. 2008, 464 pages.

Douleurs d'origine vertébrale, par R. Maigne. 2016, 480 pages.

Guide d'isocinétisme, par E. Pascal et F. Degache. 2016, 352 pages.

Manuel de strabologie, par N. Jeanrot et F. Jeanrot. 3^e édition, 2017, 216 pages.

Podologie, par A. Goldcher. 6^e édition, 2012, 352 pages.

Anatomie clinique et radiologique du rachis lombal, par N. Bogduk, A. Guierre (trad.). 2013, 288 pages.

Traumatologie du sport, par J.-C. Chanussot et R.-G. Danowski. 8^e édition, 2012, 592 pages.

Prescription des activités physiques en prévention et en thérapeutique, par F. Depiesse et O. Coste. 2^e édition, 2016, 544 pages.

Pied, chaussage et pathologies professionnelles, par B. Fouquet et al. 2009, 144 pages.

Rééducation de l'appareil locomoteur. Tome 1 : Membre inférieur, par A. Quesnot, J.-C. Chanussot et R.-G. Danowski. 2010, 488 pages.

Rééducation de l'appareil locomoteur. Tome 2 : Membre supérieur, par A. Quesnot, J.-C. Chanussot et R.-G. Danowski. 2011, 464 pages.

Pratiques en posturologie

Alain Scheibel

Françoise Zamfirescu

Pierre Marie Gagey

Philippe Villeneuve

En hommage à Bernard Weber

Préface du professeur Philippe Thoumie



Ce logo a pour objet d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, tout particulièrement dans le domaine universitaire, le développement massif du « photocopillage ». Cette pratique qui s'est généralisée, notamment dans les établissements d'enseignement, provoque une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que la reproduction et la vente sans autorisation, ainsi que le recel, sont passibles de poursuites. Les demandes d'autorisation de photocopier doivent être adressées à l'éditeur ou au Centre français d'exploitation du droit de copie : 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris. Tél. 01 44 07 47 70.

Illustrations : Annaïck Péron

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (art. L. 122-4, L. 122-5 et L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle).

© 2017, Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

ISBN : 978-2-294-74719-9

e-ISBN : 978-2-294-74825-7

Elsevier Masson SAS, 65, rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex
www.elsevier-masson.fr

LISTE DES COLLABORATEURS

Scheibel Alain, ostéopathe, intervenant au séminaire du DIU de posturologie clinique (UPMC, Paris), au DU de podologie, de biomécanique et du sport (ILEPS), et directeur des études de l'École de posturologie clinique (E.P.C).

Zamfirescu Françoise, orthoptiste, intervenante au séminaire du DIU de posturologie clinique (UPMC, Paris).

Gagey Pierre Marie, docteur en médecine, fondateur de l'Association française de posturologie (AFP) et président de l'Association pour le développement et l'application de la posturologie (ADAP).

Villeneuve Philippe, podologue-ostéopathe, président de l'Association de posturologie internationale (API), chargé de cours au DU Douleur (Paris XII), professeur au master Posturologie (Université Barcelone UB) et au master Fisioterapia (Université Madrid UCJC).

Avec la collaboration de :

Achabbak Myriam, docteur en médecine, ORL, centre d'explorations fonctionnelles d'otoneurologie, Paris.

Ampen Patrick, orthodontiste, Ussy-sur-Marne.

Belhassen Serge, médecin rééducateur, Juvignac.

Bourgeois Pascal, docteur en STAPS, ILEPS, Cergy-Pontoise.

Cornu Jean-Yves, laboratoire de bio-ingénierie et explorations fonctionnelles cutanées, CHU de Besançon.

Coupin Isabelle, orthoptiste et intervenante au séminaire du DIU de posturologie clinique (UPMC, Paris).

Flotte de Pouzols Stéphane, podologue-posturologue, Sceaux.

Foisy Arnaud, podologue-ostéopathe, docteur en sciences, groupe IRIS, physiopathologie de la vision et motricité binoculaire, CNRS FR3636, université Paris Descartes, Paris.

Gagey Olivier, PU-PH, chirurgien orthopédique, anatomiste, hôpital Bicêtre.

Habif Michel, opticien-posturologue, Paris.

Helbert Serge, podologue-posturologue, Paris.

Jaïs Laurent, docteur en médecine, posturologue, Paris.

Joris Maurice, docteur en médecine, ostéo-posturologue, président de l'Association belge de posturologie

Kapoula Zoï, docteur en sciences, directeur de recherche, groupe IRIS, Physiopathologie de la vision et motricité binoculaire, CNRS FR3636, université Paris Descartes, Paris.

Legendre-Batier Sylvie, podologue-posturologue, intervenante au séminaire du DIU de posturologie clinique (UPMC, Paris).

Matheron Éric, kinésithérapeute, docteur en sciences, groupe IRIS, Physiopathologie de la vision et motricité binoculaire, CNRS FR3636, université Paris Descartes, Paris.

Mulliez Thierry, médecin ostéopathe, posturothérapeute, Tourcoing.

Roll Jean-Pierre, professeur émérite, directeur de recherche, université d'Aix-Marseille, CNRS, Marseille.

Roll Régine, docteur en sciences, enseignant-chercheur, université d'Aix-Marseille, CNRS, Marseille.

Thoumie Philippe, PU-PH, chef de service de rééducation neuro-orthopédique, hôpital Rothschild, Paris.

Toupet Michel, docteur en médecine, ORL, centre d'explorations fonctionnelles d'otoneurologie, Paris.

Villeneuve-Parpay Sylvie, podologue-posturologue, chargée de cours au DU Perception action et troubles des apprentissages (université de Bourgogne) et à l'Institut de formation en pédicurie podologie ergothérapie kinésithérapie (Rennes).

Weber Bernard[†], docteur en médecine, vice-président de l'Association de posturologie internationale (API)

ABRÉVIATIONS

ACP	analyse en composante principale
ATM	articulation temporo-mandibulaire
CdP	centre de pression
DIO	dispositif interdentaire
DSC	dysfonction systématisée généralisée
EIAP	épines irritatives d'appuis plantaires conscientes
EIAPI	épines irritatives d'appuis plantaires inconscientes
EIPS	épines iliaques postéro-supérieures
EME	élément médio-externe
EMG	électromyographique
EMI	élément médio-interne
EPD	examen posturo-dynamique
EVA	échelle visuelle analogique
HV	hallux valgus
HV	hétérophorie verticale
IRMf 3T	imagerie fonctionnelle cérébrale par résonance magnétique nucléaire
ISPGR	Société internationale d'étude de la posture et de la marche
JFO	<i>Journal français d'orthoptie</i>
LFH	long fléchisseur de l'hallux
LIP	ligne idéale de parcours
MCP	manœuvre de convergence podale
OIM	occlusion dentaire en inter-cuspidation maximale
ORC	occlusion en relation centrée
OV	orthophorie verticale
PNS	posturo-thérapie neurosensorielle
PPD	pied postural dominant
QP	quotient plantaire
QSC	quotient de symétrie cervicale
QVP	quotient visuo-podal
PEO	potentiels évoqués otolithiques sacculo-colliques myogéniques
PNS	posturo-thérapie neurosensorielle
RAIG	rotations inclinées par rapport à la gravité
REM	<i>Rapid Eye Movements</i>
SCUD	<i>Spine Cranio-Ubiquitary Dysfunction</i> (syndrome crânio-rachidien diffus)
SNC	système nerveux central
SPA	système postural d'aplomb
TA	test d'antépulsion passive
TAA	test d'antériorisation active
TCG	tactique du centre de gravité
TCP	tactique du centre de pression
VEMP	potentiels évoqués vestibulaires myogéniques

VI	vision intermédiaire
VL	vision de loin
VP	vision de près
VPPB	vertiges paroxystiques positionnels bénins
VV	variance de la vitesse
VVS	verticale visuelle subjective

BIBLIOTHEQUE DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SCIENCE MEDICALE

PRÉFACE

Cet ouvrage se veut un hommage à Bernard Weber, médecin anesthésiste aux multiples facettes, dont le fil directeur a été pendant de nombreuses années d'introduire dans la posturologie clinique une exigence méthodologique propre à la faire reconnaître par ses pairs.

Les recherches cliniques abouties ou encore en cours et citées dans ce livre sont le fruit de réflexions communes aux chercheurs fundamentalistes et cliniciens. Les premiers se doivent d'imposer une méthodologie rigoureuse, seule garante d'une validation définitive des idées développées intuitivement ou au prix d'une longue expérience par les seconds.

À ce jour, de multiples questions restent en suspens du fait d'études insuffisantes ou aux résultats contradictoires. D'autres réponses ont bénéficié de validations pertinentes justifiant de la validation des hypothèses initiales, reliant troubles posturaux, douleurs et instabilité.

Nous formulons le souhait que chercheurs et praticiens trouveront dans ce recueil matière à réflexion qui ouvrira de nouvelles pistes de recherche afin d'aboutir à une meilleure prise en charge du patient postural au quotidien.

Philippe Thoumie

HOMMAGE À BERNARD WEBER

(1927 – 2013)

« L'absence de certitude, loin d'être sa faiblesse, constitue et a toujours constitué le secret de la force de la science, comprise comme pensée de la curiosité, de la révolte et du mouvement. Ses réponses sont crédibles parce qu'elles sont les meilleures dont nous disposons à un instant donné de l'histoire de notre savoir. C'est justement parce que nous savons ne pas les considérer comme définitives qu'elles continuent à s'améliorer. »

Anaximandre de Milet, fondateur de l'esprit scientifique

Anaximandre de Milet !... Oui, c'est bien lui, Anaximandre de Milet, qui est le symbole de reconnaissance entre toi et moi, Bernard..., entre toi et nous tous, nous les posturologues que tu as tant aidés...

Ton bonheur, ton enthousiasme, ta jubilation !... le jour où tu es venu m'apporter ce livre de Rovelli et Smerlak¹. Il venait de sortir... Cela fait 4 ans déjà. Je ne t'ai jamais vu pareillement jubiler ! Et la jubilation ne trompe pas, elle est bien le signe que quelque chose de grand se passe. Ce livre, en effet, nous fait palper la puissance de l'intelligence humaine à travers l'œuvre de ce personnage. À sa naissance, la terre est la base solide sur laquelle repose le cosmos, protégé des eaux abyssales par la voûte céleste sur laquelle sont épinglées les étoiles et que parcourt, chaque jour, un soleil nouveau, c'est l'évidence, bien sûr !... L'évidence des hommes du temps d'Anaximandre. De quelle puissance n'a-t-il pas eu besoin pour renverser cette évidence sacrée, ancrée dans les esprits depuis les origines ! Oser dans un tel contexte, oser dire que la terre flotte dans l'espace... Oser imaginer que sous la terre, il n'y a rien... rien qui la soutienne, pas de bras d'Hercule, pas de tortue géante, rien, absolument rien. Nous avons de la peine à reconstituer dans nos esprits ce bouleversement qu'Anaximandre impose à ses contemporains, quatre siècles avant notre ère ; Galilée, un petit enfant en comparaison !

Être capable, sur la base de quelques indices, de construire par ses raisonnements une représentation de réalités qu'on ne voit pas, telle se présente, depuis l'antiquité, la puissance de l'intelligence humaine... Car aujourd'hui, grâce à nos satellites, nous la voyons la terre, flotter dans l'espace comme une petite boule, mais du temps d'Anaximandre il ne voyait rien ou presque, seulement la voûte céleste tourner, toutes les nuits presque pareille et dans le même sens, mais tout le monde voyait bien aussi que la terre était la base solide, sur laquelle

1. *Anaximandre de Milet ou la naissance de la pensée scientifique*, C. Rovelli, 2009, Dunod.

tout s'appuie, tout repose... tout, tous les hommes et toutes les femmes et même les animaux, de toutes les espèces, et même la mer et tous les poissons qui l'habitent... Renverser les évidences à l'aveugle, ou presque sans rien voir, alors que les autres voient bien que les choses sont autrement que ce que l'on dit... Voilà bien la puissance de l'intelligence de l'homme, de l'intelligence du monde à laquelle tu as cru passionnément, Bernard, et nous y croyons aussi : Anaximandre de Milet est bien notre symbole de reconnaissance.

Et tu savais que le domaine de la raison est bourré de pièges ! Avec quelle patience tu as passé ton temps à critiquer nos protocoles, nos manques de rigueur, pour nous éviter de dire trop de bêtises... Cela aussi fait partie de l'intelligence.

Pierre Marie Gagey

PARTIE I

Pour une clinique raisonnée
du défaut d'aplomb

Pierre Marie Gagey, Alain Scheibel

PLAN

CHAPITRE 1	Sens clinique et vérité scientifique : le défaut d'aplomb et la clinique quotidienne	3
CHAPITRE 2	Validation clinique : de la méthode	7

INTRODUCTION

Posturologie : du vertige et du défaut d'aplomb

Il y a des patients qui se plaignent de symptômes subjectifs en relation avec leur position debout au repos. Ils souffrent de douleurs chroniques de leur axe corporel (douleurs du rachis, des membres inférieurs, des pieds) et/ou de sensations vertigineuses, d'instabilité. Il faut alors s'assurer qu'il a été vérifié que leurs symptômes ne sont pas ceux d'une maladie classique. Tous ces patients, partout dans le monde, disent les mêmes choses, avec les mêmes mots. « Bien évidemment, il ne peut s'agir là d'une leçon apprise. [1] » L'accord entre tous ces patients, ce consensus intersubjectif, garantit que leurs symptômes subjectifs manifestent un problème objectif de « leur pouvoir de tenir droit debout », comme disait Aristote [2]. Devant de tels patients, l'attitude clinique évidente est d'abord d'observer comment ils tiennent debout d'aplomb [3]. La posturologie introduit donc là une première nouveauté. Elle propose que la rhumatologie, l'orthopédie, la neuro-otologie perçoivent que certains de leurs patients traditionnels puissent être examinés dans l'optique nouvelle d'un trouble fonctionnel du système postural d'aplomb (SPA), ce système dont l'existence était déjà reconnue par les Grecs et que nous avons mis si longtemps à comprendre.

La deuxième nouveauté, dont la posturologie se découvre porteuse, s'inscrit dans la dynamique actuelle de la neurologie vers une prise en compte de l'organisation de la série temporelle des événements au sein des voies et centres du système nerveux [4]. Nous découvrons, en effet, que nous savons modifier cette organisation temporelle et que ces modifications peuvent être bénéfiques.

CHAPITRE 1

Sens clinique et vérité scientifique : le défaut d'aplomb et la clinique quotidienne

Pierre Marie Gagey, Alain Scheibel

Le système postural s'inscrit dans la théorie des systèmes. Il est un sous-système de l'équilibre et utilise d'autres sous-systèmes, comme les ensembles myo-fascio-squelettique, oculaire, labyrinthique et cutané. En tant que tel, il intègre leurs informations pour permettre au corps de se tenir debout, en aplomb, par des efférences toniques et phasiques, sur lesquelles va pouvoir se construire le mouvement en « équilibre » [3].

Il existe un corpus scientifique, solide de nos jours, sur le fonctionnement du système d'aplomb : la position du corps dans le champ gravitaire est perçue par une multitude de capteurs, dont certains sont en rapport direct avec cet environnement. On nomme ces capteurs des *exo-capteurs* : la vision, les otolithes, la sole plantaire. Toutefois situés sur des parties du corps mobiles les uns par rapport aux autres, ils ne peuvent travailler conjointement que s'ils « connaissent » leur position réciproque. Il existe donc d'autres capteurs strictement posturaux, bien qu'ils n'aient pas de relation directe avec l'environnement, dont le rôle est de pondérer l'information venue des *exo-capteurs* par leurs positions réciproques. Il s'agit de la proprioception musculaire – oculomotrice et rachidienne tout particulièrement –, ligamentaire, cutanée et des *fasciae*.

Le sens clinique des posturologues se réclame uniquement de ce corpus scientifique qui établit un lien entre tous ces capteurs et la position de la verticale de gravité, réglée par l'activité tonique posturale.

La position de la verticale de gravité est observable sur une machine qui introduit l'observateur dans la mécanique du corps car elle mesure des forces, des moments et des couples. Grâce à des modèles biomécaniques de la station

debout, comme le modèle du pendule inversé [5, 6], le clinicien peut réfléchir sur les données brutes des forces mesurées par la machine et calculer la position, la vitesse, l'accélération du centre de masse du patient [7]. Et bien au-delà de ces données biomécaniques formelles, le clinicien peut poursuivre ses réflexions à l'aide des modèles biomécaniques et définir la stabilité du corps debout au repos, son coût, son économie, sa vitesse de réaction, le niveau de son traitement par le SNC et bien d'autres choses encore. Tout cet enchaînement logique est parfaitement rationnel : on a le droit d'attribuer au phénomène « tenir debout » une réalité mécanique, cela est cohérent, et même fructueux.

La cohérence devient moins évidente lorsque la posturologie prétend se réduire à cette approche purement biomécanique du phénomène. Foin de l'anatomo-clinique, de la biochimie, de la psychologie, de toutes les autres facettes de l'approche du patient, fondamentalement la posturologie se veut réduite à un regard biomécanique. Cela n'empêche pas le clinicien, par ailleurs, d'ouvrir les yeux sur tous les autres aspects de son patient, évidemment, mais, en tant que posturologue, il est et il reste biomécanicien. En effet, la posture est un jeu de forces antagonistes : les forces dues à la gravité et à la masse des différentes parties du corps, d'une part, et d'autre part les forces musculaires et ligamentaires qui s'opposent à l'effondrement du squelette. Le réglage de ces forces antagonistes possède un autre degré de liberté important : il dépend aussi de l'histoire du sujet, qui détermine sa psychologie et donc une certaine attitude de son corps, par exemple plus ou moins « tonique », ou plus ou moins extra ou introverti, ce qui a une signification importante, mais qui ne relève pas du domaine de la posturologie clinique. La configuration du corps, pour le posturologue, doit simplement satisfaire à des exigences mécaniques : elle doit permettre un jeu normal des surfaces articulaires de l'axe corporel, selon leur géométrie, ainsi qu'une régulation normale de la stabilité du sujet.

Cette réduction biomécanique est parfaitement justifiée théoriquement, on a toujours le droit de ne regarder qu'une partie des phénomènes que l'on observe. Mais cette réduction est aussi justifiée pratiquement parce que nous savons régler les forces musculaires qui s'opposent aux forces de gravité. Le tonus musculaire s'adapte spontanément et immédiatement aux modifications des informations que le système postural reçoit sur la position du corps dans le champ gravitaire, à une condition : ces modifications doivent rester très fines. Ce fait n'a pas besoin d'être prouvé, chacun peut le vérifier, par exemple, comme Janin l'a fait [8]. En général, ces manipulations permettent, à elles seules, de régler et de rendre mécaniquement satisfaisante la configuration posturale du patient.

Cette réduction mécanique de la posturologie explique que les posturologues ont besoin d'une machine qui travaille avec un signal mécaniquement « clair » : le centre de gravité, et non avec un signal qui mélange diverses informations mécaniques, comme le centre de pression [7, 9]. Cette machine doit aussi permettre d'utiliser un modèle biomécanique du contrôle postural, c'est-à-dire qui situe la verticale de gravité précisément dans l'espace corporel. Placer des capteurs d'accélération au voisinage du centre de masse du corps est totalement

insuffisant pour le posturologue, car il ne recueille alors que des informations de mouvement du centre de masse sans rapport avec le corps du patient.

Bibliographie

1. Marie P. Les troubles subjectifs consécutifs aux blessures du crâne. *Revue de Neurologie* 1916;4-5:454-76.
2. Aristote — *Les Parties des animaux*. Trad. Pierre Louis. G. Budé, édition brochée, Paris, 1956.
3. Alain Berthoz. *Le sens du mouvement*. Odile Jacob; 1997.
4. Gagey PM. A critique of posturology: towards an alternative neuro-anatomy ? (Editorial). *Surg. Radiol. Anatomy* 1991;13:255-7.
5. Bernstein N. *On the construction of movements*. Moscow: Medgiz; 1947.
6. Winter DA, Prince F, Patla A. Validity of the inverted pendulum model of balance in quiet standing. *Gait and Posture* 1997;5:153-4.
7. Gagey B, Bourdeaux O., Gagey P.M. From the center of pressure to the center of gravity, a new algorithm for a step forward in stabilometry. <http://dx.doi:10.17784/MTPRehabJournal.2015.13.001>, 2015.
8. Janin M. *Modification de la posture selon la hauteur d'éléments*. Mémoire DU: Physiologie de la posture et du mouvement; 2000.
9. Gagey PM, Gagey B, Ouaknine M. Quarante ans dans le brouillard. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique : Comprendre, évaluer, soulager les douleurs*. Paris: Elsevier Masson; 2012. p. 209-16.

CHAPITRE 2

Validation clinique :
de la méthodePierre Marie Gagey, Alain Scheibel

Le rôle du clinicien posturologue ne se limite pas à observer les patients sur une machine, car l'observation du jeu normal des surfaces articulaires de l'axe corporel est, selon leur géométrie, parfaitement accessible à l'examen clinique. Le principe de la méthode est très simple : la trajectoire du mouvement autour d'une articulation ou d'un groupe d'articulations est dirigée par deux variables indépendantes dans l'instant, d'une part la géométrie des surfaces articulaires, d'autre part la commande motrice. L'indépendance de ces deux variables apparaît lors de dysharmonie entre elles : une hypertonie musculaire localisée, par exemple, peut rendre la commande motrice inadaptée au jeu normal des surfaces articulaires, ce qui modifie la trajectoire du mouvement et peut soumettre les surfaces articulaires à des contraintes anormales. La modification de la trajectoire est observable cliniquement. Le test de piétinement de Fukuda-Unterberger (voir chapitre 9.1) en est un exemple remarquable, car les résultats du test ne dépendent pas du clinicien. Il suffit de demander au patient de piétiner sur place, les yeux fermés, dans des conditions bien précises, et d'observer ce qui se passe. L'asymétrie de la commande motrice se révèle par la trajectoire suivie par le patient. Dans ce cas, les surfaces articulaires ne sont pas nécessairement soumises à des contraintes anormales. Lorsque le clinicien, par contre, teste l'inclinaison latérale du rachis (voir chapitre 8.1), il peut parfois constater que la trajectoire du mouvement ne suit pas la ligne d'intersection des surfaces de révolution imposées par la géométrie des surfaces articulaires ; l'asymétrie de la commande motrice impose alors des contraintes anormales aux surfaces articulaires.

Les cliniciens posturologues se sont souvent contentés de reprendre des tests connus, utilisés dans d'autres disciplines, en ayant pris soin de les valider, car ces tests ont une grande importance pour eux. Ils leur permettent de savoir si telle ou telle manipulation d'une entrée du système postural d'aplomb agit

effectivement sur le tonus musculaire. En effet, lorsque la trajectoire du mouvement autour d'une articulation ou d'un groupe d'articulations redevient normale après une manipulation d'une entrée du système postural, il n'est pas possible de penser que cette manipulation a modifié la géométrie des surfaces articulaires ; le changement ne peut être imputé qu'à une modification de la commande motrice, vraisemblablement tonique si les tests sont répétés correctement.

Une caractéristique capitale du système postural d'aplomb sera développée ultérieurement : il fonctionne comme un système dynamique non linéaire (voir chapitre 13). Cette caractéristique ayant une conséquence pratique en clinique du défaut d'aplomb, il convient toutefois de la signaler dès à présent : la chronologie est une donnée essentielle de ces séries temporelles d'événements enchaînés de phénomènes posturaux. C'est-à-dire que l'interrogatoire doit préciser avec grand soin la chronologie de l'apparition des symptômes et leur rapport temporel avec les autres événements de la vie du patient. Cela implique également que la succession chronologique des tests cliniques, utilisée au premier examen du patient, devra être rigoureusement respectée lors de ses examens de contrôle. En effet, ce qui se passe à l'instant t dépend de ce qui s'est passé à l'instant $t-1$.

Tout le monde connaît cette autre propriété des systèmes dynamiques non linéaires, le fameux « effet papillon » [1] que Jean-Bernard Baron, le premier, a mis en évidence expérimentalement [2]. Les posturologues l'utilisent continuellement pour traiter les défauts d'aplomb, puisque seules les manipulations très fines des entrées du système postural d'aplomb sont capables de modifier le tonus postural. Le seuil de finesse entre les manipulations efficaces ou non sur le tonus de posture a été étudié en podologie [3]. Par contre, les fondamentalistes ne donnent encore aucune explication des raisons de ce seuil ; est-il en rapport avec un décalage chronologique au niveau des boutons synaptiques ?

- ▷ **Correction de langage :** les mathématiciens distinguent les systèmes chaotiques comme un sous-ensemble des systèmes dynamiques non linéaires. Le SPA ne serait donc pas un système chaotique.

Toute cette rigueur de la clinique du défaut d'aplomb sous-tend les développements des chapitres suivants qui devraient permettre aux cliniciens de mieux comprendre comment travailler cette nouvelle discipline.

Bibliographie

1. Lorenz E.N. — Meeting of the American Association for the Advancement of Science, Washington DC, December 1972.
2. Baron JB. *Muscles moteurs oculaires, attitude et comportement locomoteur des vertébrés*. Paris: Thèse de Sciences; 1955.
3. Janin M. *Modification de la posture selon la hauteur d'éléments*. Mémoire DU: Physiologie de la posture et du mouvement; 2000.

PARTIE II

Asymétries toniques

Pierre Marie Gagey, Alain Scheibel

PLAN

CHAPITRE 3	Interrogations cliniques	11
CHAPITRE 4	Fondements physiologiques de l'aplomb	35
CHAPITRE 5	Aplomb et mouvement	69

INTRODUCTION

Mettre en évidence les asymétries toniques

La symétrie corporelle n'existe pas : ce fait est connu, les connaissances anatomo-physiologiques l'imposent. Il existe cependant des asymétries corporelles anormales, d'origine tonique, pour lesquelles le bilan postural doit apporter la preuve qu'elles sont bien d'origine tonique.

La plupart des tests de l'examen clinique postural ont été validés pour assurer cette preuve le mieux possible ; cependant, en les choisissant, le clinicien doit garder à l'esprit qu'ils ne sont pas parfaits. Le doute fait partie de tout examen clinique... même postural !

CHAPITRE 3

Interrogations cliniques

3.1. Les réflexes de posture : dynamique de la stabilité

Philippe Villeneuve

Les réflexes posturaux font partie des fondements de l'examen clinique posturologique [1-4]. Ils permettent d'apprécier les fluctuations du tonus postural et d'observer si celles-ci s'organisent physiologiquement ou non en réponse à des stimulations sensorielles ou sensitives. Ils permettent ainsi d'évaluer la bonne intégration des boucles sensori-motrices participant à la régulation posturale. Si certains stimuli investiguent des boucles courtes, comme le réflexe tendineux, d'autres réflexes sont liés à des émotions [5, 6] et se propagent alors à l'ensemble de l'individu [7]. Ils sont fréquemment retrouvés non physiologiques en cas d'algies chroniques ou de troubles cognitifs. De plus, leurs connaissances permettent de prévoir certaines réponses à des stimulations posturales à visée thérapeutique.

- ▷ Réflexe vient du latin *reflectere*, qui signifie réfléchir. C'est une « réaction motrice ou sécrétoire déclenchée par le système nerveux en dehors de l'intervention de la volonté, en réponse à une stimulation des terminaisons nerveuses sensitives » [8].

Les réflexes du XVII^e siècle à nos jours

La première approche de la nature des mouvements réflexes est à attribuer à Descartes qui, dans son *Traité de l'Homme* en 1648 [9], décrit le réflexe antalgique (figure 3.1). Le terme réflexe est utilisé pour la première fois par Thomas Willis [10].



FIGURE 3.1. Réflexe antalgique d'après Descartes (1662).

Comprendre le corps humain à travers ses réponses synergiques involontaires ou réflexes

L'étude des réflexes en clinique humaine est contemporaine des débuts de la neurologie. Elle débuta avec l'exploration des réflexes tendineux [11, 12], puis le cutané plantaire [13] dans le diagnostic clinique des affections du système nerveux.

En parallèle, le pédagogue Bernard Perez [14] décrit le premier réflexe postural (figure 3.2) et, par la suite, de nombreux médecins développèrent l'étude des réflexes dans le champ de la neuropédiatrie, notamment Galant (spinal de Galant, 1917 [15]), Moro (éponyme, 1918 [16]) et André-Thomas (marche automatique, 1943 [17]). Chez l'homme, les premiers réflexes sont à départ cutané [18] et apparaissent dès la huitième semaine intra-utéro. Puis, ils semblent disparaître lors des six premiers mois de vie, le réflexe de préhension plantaire ayant été le seul à avoir été trouvé à 9 et 12 mois d'âge corrigé chez les bébés prématurés [19].

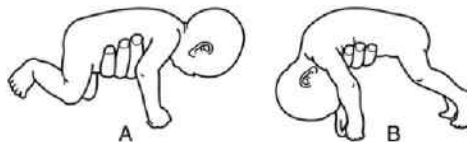


FIGURE 3.2. Évaluation du tonus postural chez le nouveau-né en suspension ventrale.

A : tonus physiologique. B : hypotonie.

Un réflexe qui perdure est-il lié à un trouble du développement ?

La persistance marquée d'un réflexe tonique du cou au-delà du premier semestre témoigne d'un retard, de l'arrêt ou d'une perturbation du développement [20], voire de schizophrénie [21]. Pour Benders [22], un test était trouvé positif après l'âge de 6 ans pouvait être en lien avec, notamment, des difficultés de lecture. Mais ce réflexe est également fréquemment retrouvé chez de nombreux enfants sans trouble psychiatrique [23]. Plus près de nous, Éric Matheron [24] a montré qu'une perturbation du réflexe de fusion, indispensable à une vision binoculaire normale, était retrouvée chez 98,5 % des algiques chroniques et Garrigues [25] trouve un pourcentage similaire chez les enfants dyslexiques (99 %).

Réflexes et posturologie

De nombreux auteurs, dont Magnus [26], pensaient que les réflexes nucaux étaient présents uniquement chez l'embryon, les nouveau-nés et chez les patients présentant des lésions cérébrales. En fait, ils peuvent être retrouvés chez des adultes sains, lors de stress émotionnels, comme le montra Hellebrandt [27], ou lors de mouvements [1]. L'homme en bonne santé conserve toujours, mais sous une forme latente, ses réflexes nucaux au niveau des membres inférieurs [28] et supérieurs [29]. Gurfinkel et al. [30] confirment ces résultats. Ils ajoutent que si les réflexes ne sont pas fonctionnels, les mouvements sont alors perturbés et entraînent une prise en charge par une structure cérébrale hiérarchiquement supérieure ; ce qu'avait déjà décrit André Thomas en 1911 [31], en cas de perturbation de ses réflexes posturaux : « si l'homme était obligé de vouloir surveiller incessamment son équilibre, son attention serait détournée des phénomènes purement psychiques et ce serait aux dépens du développement et de l'entretien de son intelligence. »

Aujourd'hui, les réflexes et les réactions posturales sont fréquemment utilisés par les neuropédiatres [32]. En effet, faciles à acquérir et à intégrer dans la pratique clinique de routine, ils présentent en outre une utilité diagnostique [33]. Il serait dommage de les ignorer dans l'examen clinique posturologique, d'autant plus que Fukuda nous a ouvert la voie.

Fukuda et le réflexe nuchal

Suite aux travaux fondamentaux de Magnus sur les réflexes nucaux, Fukuda essaya de les appliquer aux patients instables. Après avoir observé tout particulièrement le réflexe tonique du cou chez des sportifs, Fukuda entreprit de tester sur de nombreux adultes sains la réponse au test d'écriture verticale, les yeux fermés, lors de changement de position de la tête. La rotation de la tête entraînait une modification d'orientation de l'écriture verticale, soit vers la droite soit vers la gauche en fonction du sens de rotation de la tête. Ainsi, Fukuda mit en évidence que les réflexes étaient toujours présents de manière latente chez les sujets sains. Par la suite, Gagey et Debruille [34] associèrent les réflexes

asymétriques du cou au test de piétinement : les sujets tournaient alors dans la direction opposée à la rotation de la tête. Gagey et Baron [35] précisèrent que la position des yeux était également un facteur important, la version des yeux entraînant une réponse controlatérale à la rotation de la tête.

L'utilisation des réflexes posturaux en clinique journalière

La proximité entre diverses procédures cliniques implique d'utiliser un vocabulaire spécifique. Avant d'envisager la clinique, nous allons donc définir dans le contexte posturologique trois termes : manœuvres, tests et réflexes.

- ▷ Les **manœuvres** permettent d'évaluer le tonus postural d'un individu et de le classer en fonction du résultat obtenu (hypertonie droite ou gauche, isotonie). Il s'agit d'un préalable à des tests ou des réflexes.
- ▷ Les **tests** permettent d'investiguer la réponse tonique à une modification d'une entrée posturale. Pour ce faire, une manœuvre de référence initiale doit informer sur l'état tonique du patient à un moment T, puis une seconde manœuvre, effectuée après la modification, permet d'évaluer s'il y a des modifications toniques et d'apprécier si celles-ci tendent vers l'isotonie ou, au contraire, majorent l'hypertonie.
- ▷ Les **réflexes** permettent d'appréhender la physiologie de boucles sensori-motrices. Suite à une stimulation, dont l'effet est prédictible, il est simple de visualiser si la modification tonique se fait dans un sens physiologique ou non. Ils permettent donc de démasquer des dysfonctions latentes, comme l'écrivent Gagey et al. [3] : « Cliniquement, l'hypertonie de posture s'exprime au mieux lorsqu'elle empêche le déroulement normal des réflexes posturaux. »

Nous allons illustrer nos propos avec l'épreuve de piétinement (voir chapitre 9.1) effectuée debout qui peut être, selon le contexte, soit une manœuvre, soit un test, soit un réflexe.

La manœuvre de piétinement est une épreuve initiale qui permet d'objectiver l'hypertonie, de la qualifier (rotation droite ou gauche) et de quantifier le spin (voir chapitre 9.1). Cela correspond à la mise en évidence de l'état tonique « brut » du patient. Le test, lui, permet de comparer la manœuvre initiale (pré-stimulation) – qui nous donne une référence tonique pour le patient, par exemple une hypertonie gauche (déviation antihoraire) – et une seconde manœuvre post-stimulation : la réponse à la stimulation. Ceci nous permet de tester des stimulations visuelles, plantaires, stomatognathiques ou proprioceptives... Quant au réflexe, il utilisera, comme le test, une manœuvre initiale, la tête en position neutre. Puis la même manœuvre sera à nouveau effectuée, la tête tournée à droite puis à gauche. La rotation de la tête doit entraîner une rotation du patient controlatérale à la position de la tête. Si ce n'est pas le cas, le réflexe est

décrit comme non physiologique : on en déduit que cette boucle sensorimotrice présente des difficultés d'intégration avec le système nerveux central.

Un réflexe, des procédures cliniques

Le réflexe asymétrique du cou peut être utilisé dans diverses situations : debout sans bouger les pieds [36] ou en piétinant comme nous venons de le voir, mais aussi assis, grâce à la manœuvre de Cyon [3], ou en décubitus dorsal [4] (voir chapitres 8.3 et 8.4).

Les réflexes posturaux en décubitus dorsal

La procédure clinique la plus rapide et la moins fatigante pour le patient est d'utiliser la manœuvre de convergence podale, MCP [4]. Même si celle-ci n'a pas encore fait preuve de sa reproductibilité (voir chapitre 8.3.4), elle permet d'évaluer le tonus des muscles rotateurs externes de hanche en position couchée et, par là même, l'hémicorps hypertonique [37].

Nous constatons que, comme debout chez le sujet normal, la rotation de la tête entraîne une hypertonie homolatérale des muscles rotateurs externes de hanche [4] et la version des yeux entraîne une hypertonie controlatérale. Un autre réflexe à départ cutané plantaire devrait être investigué : il suffit, après une MCP initiale, de stimuler légèrement avec les doigts la peau plantaire située sous le scaphoïde (naviculaire), en exerçant une force d'environ 20 gr [38, 39], puis sous le cuboïde pour objectiver physiologiquement respectivement une augmentation du tonus des rotateurs externes homolatéraux à la stimulation, puis une augmentation du tonus controlatérale.

Les trois réflexes que nous venons de décrire permettent d'investiguer trois boucles sensorimotrices différentes et, ainsi, d'orienter la recherche des dysfonctions proprioceptives. Leur investigation réduit ainsi les régions corporelles à examiner. Ils permettent également de vérifier l'efficacité du traitement manuel [40, 24]. L'expérience clinique montre qu'une perturbation du réflexe oculomoteur oriente surtout sur des dysfonctions céphaliques, que celle du réflexe nucal oriente vers des dysfonctions au niveau du tronc et que celle du réflexe cutané plantaire est en relation avec des dysfonctions de l'arc inférieur. En outre, en cas de perturbation du réflexe oculomoteur ou du cutané plantaire, le posturologue devrait s'interroger sur la pertinence de la pose d'un prisme postural ou de stimulation plantaire, l'intégration centrale de la stimulation à visée thérapeutique risquant de ne pas être effective.

L'utilisation des réflexes posturaux permet d'appréhender la physiologie des voies de communication neuronales, et ainsi de vérifier la bonne intégration des différentes entrées posturales. De plus, elle permet d'identifier les dysfonctions proprioceptives qui devront être neutralisées avant d'envisager une remédiation posturale à l'aide de stimulations buccales, plantaires ou visuelles... Enfin, elle permet de vérifier la pertinence et l'efficacité du traitement manuel.

3.2. La question des afférences manducatrices et buccales : les afférences trigéminales

Patrick Ampen

Les pionniers [41-44] avaient avancé l'idée, à la suite de Travell [45], que des afférences mandibulaires pouvaient parasiter la régulation posturale. Les cliniciens ont confirmé et précisé ces interférences [46-48] en argumentant les rapports biomécaniques entre dysfonctions crânio-mandibulaires, en particulier les atteintes de l'articulation temporo-mandibulaire (ATM), et musculature cervicale [46] et au-delà [49]. L'intrication de la symptomatologie des dysfonctions visuelles et manducatrices [50, 51] a orienté leur attention vers les rapports anatomiques et fonctionnels [52] des branches du trijumeau. Plus récemment, Marino et al. (1998) ont proposé de modifier par des orthèses spécifiques, les « alphas », les afférences de la muqueuse buccale ou de la langue [48]. Les interférences entre réponses des entrées visuelle et buccale sont alors objectivables non plus seulement par le test de Hess-Weiss [53, 54], mais aussi par la modification de l'hétérophorie verticale [55]. Si la question se pose quant à la signification de ces interférences et de leurs différences [56], le trijumeau semble être ici aussi impliqué. Ces deux orientations des rapports du tonus postural avec l'ensemble des fonctions orales et faciales autorisent le dentiste à participer à la correction de certaines dysfonctions posturales, par un rétablissement de la manducation, soit par appareillage orthodontique, soit par orthèses buccales. Cependant, le choix de l'une ou l'autre de ces orientations thérapeutiques nécessite une analyse argumentée des connaissances actuelles de l'ensemble trigéminale.

Le système trigéminale

Anatomiquement, le nerf trijumeau (figure 3.3), cinquième paire des nerfs crâniens, est constitué de trois branches : le nerf ophtalmique de Willis (V1) et ses trois branches terminales, les nerfs lacrymal, frontal et nasal, le nerf maxillaire (V2) et le nerf mandibulaire (V3). Cette organisation supporte des fonctions intriquées et complémentaires.

L'organisation du système trigéminale

L'essentiel de la sensibilité oro-faciale repose sur le système trigéminale, par lequel transite la quasi-totalité des informations somesthésiques. L'importance des territoires qu'il innerve est à l'image du complexe hypertrophié de ses noyaux qui s'étendent sur toute la longueur du tronc cérébral depuis les colonnes sensitives de la moelle cervicale jusqu'à la partie supérieure du mésencéphale.

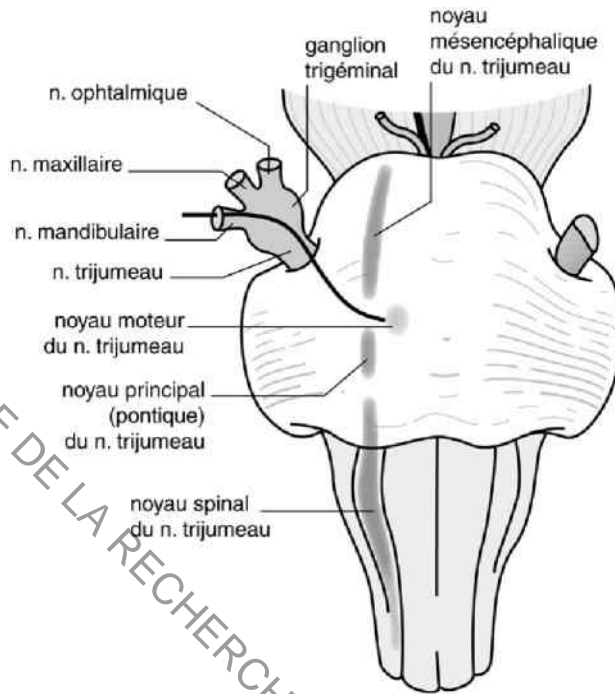


FIGURE 3.3. Noyaux du trijumeau.

Cette sensibilité est à la fois :

- **superficielle, extéroceptive**, récupère les informations directement en rapport avec l'environnement : c'est une fonction sensorielle ;
- **profonde, proprioceptive**, reçoit les informations qui conditionnent l'évolution statique et dynamique du corps dans l'espace. Ne permettant pas l'identification directe du monde extérieur, elle n'est pas considérée comme une fonction sensorielle, même si Sherrington parlait de « sens musculaire » et Bell de « sixième sens », qualification reprise par Roll [57]. Localisée dans les muscles, les tendons, les ligaments et les articulations, et facteur parmi d'autres des fonctions motrices de l'organisme – tonus postural, équilibration et coordination dynamique –, la sensibilité profonde du nerf trijumeau relève de la proprioception.

Les trois fonctions du trijumeau : sensitive, motrice et proprioceptive

Le trijumeau, nerf sensitif

Il est généralement admis que la portion sensitive du V ne concerne pas la régulation posturale ; cependant, l'anesthésie unilatérale modifie le contrôle postural [58]. Elle innerve la peau de la face jusqu'au sommet du crâne, la muqueuse

de la bouche, du nez et des cavités sinusiennes, les dents maxillaires et mandibulaires et, au niveau de l'oreille, les parties antérieures du pavillon et du méat auditif externe, ainsi que certaines portions de la membrane tympanique. L'innervation d'une grande partie de la dure-mère, plancher de la fosse crânienne antérieure, toit de la fosse crânienne postérieure et partie antérieure de la faux du cerveau, est assurée par les trois branches méningées du trijumeau.

Le trijumeau, nerf moteur

Il commande les muscles antagonistes actifs lors des mouvements d'ouverture et de fermeture de la bouche et lors des mouvements de latéralité de la mandibule, à la fois du côté travaillant et du côté non travaillant. La régulation des mouvements qu'il commande, fine et précise, est rendue possible parce que chaque muscle (et parfois même les chefs opposés d'un même muscle) est à la fois agoniste et antagoniste. L'électromyographie révèle que la position de repos des ATM implique une très faible activité des muscles élévateurs majeurs, temporaux et masséters et une activité nettement plus importante du chef supérieur du ptérygoïdien latéral : la contraction antagoniste de ses chefs supérieur et inférieur contrôle la coaptation du disque et du condyle de l'ATM. En cas d'interférence occlusale, ou de tension générale du sujet, Basmajian a pu relever une activité musculaire enregistrée au niveau du temporal pour le maintien du contact dentaire lors de l'orthostatisme. En 2006, Ambalavanar et al. [59] ont étudié les réponses somatiques à des stimulations nociceptives par injection de l'adjuvant de Freund complet chez le rat. La modulation nociceptive, surtout liée au trijumeau, générée par l'inflammation au niveau du tissu crânio-facial, s'observe à distance et induit une douleur profonde évoquant celle ressentie dans la fibromyalgie, le whiplash et les troubles temporo mandibulaires. Radhouane et al. ont pu montrer expérimentalement les mécanismes segmentaires d'activation et de modulation des messages nociceptifs, dont l'ajustement est permanent.

Le trijumeau, nerf de la proprioception

La partie proprioceptive du trijumeau, indissociable de son activité motrice, envoie à tout instant à l'organisme des informations sur l'état de tension de l'ensemble musculo-squelettique qu'elle gère ; à ce niveau local, comme au plan général, elle participe ainsi au contrôle de la position des segments corporels et de leurs mouvements. Le tonus de posture représente une partie de cette motricité automatique réflexe, statique et dynamique.

La proprioception trigéminal

Les récepteurs de la proprioception trigéminal

Les fuseaux neuromusculaires, structures sensibles à l'étirement, ont été mis en évidence dans les muscles de fermeture de la bouche (masséter, temporal, ptérygoïdien interne) ; leur distribution varie considérablement suivant le muscle

envisagé et ses différents faisceaux, suivant l'espèce animale, le régime alimentaire et par conséquent le type de mastication, mais aussi, d'espèce à espèce, suivant des facteurs propres à l'animal considéré.

Les organes tendineux de Golgi, situés dans les tendons et les cloisons aponévrotiques à leur jonction avec les structures musculaires, sensibles à la tension, agissent en permanence comme antagonistes des fuseaux neuromusculaires.

Les récepteurs parodontaux, localisés dans le desmodonte, la gencive et le périoste, captent la variation de pression et d'intensité des forces exercées au niveau de la dent.

Les récepteurs de l'ATM, de quatre types, répondent à des fonctions et des localisations différenciées :

- les terminaisons libres, présentes dans toutes les zones, répondent aux stimulations nociceptives et sont responsables des sensations douloureuses ;
- les récepteurs de Ruffini participent au maintien de la position de la mandibule, tandis que les récepteurs de Golgi et de Pacini contrôlent ses mouvements.

Les voies de la proprioception trigéminal

Les fibres sensibles du nerf trijumeau aboutissent à deux noyaux principaux contenant leurs corps cellulaires : le ganglion trigéminal (ganglion de Gasser) et le noyau mésencéphalique.

Du premier dépendent, de haut en bas, les fibres du nerf ophtalmique, puis celles du nerf maxillaire et du nerf mandibulaire qui transmettent la douleur. Sont associés à cette voie des fibres des nerfs VIIb (nerf intermédiaire), IX (glosso-pharyngien) et X (vague), qui transmettent aussi des messages douloureux venant de l'oreille, du tiers postérieur de la langue du pharynx et du larynx. Les cellules du sous-noyau oral sont activées par des stimulations tactiles et douloureuses de la cavité buccale. Se terminent aussi dans le noyau principal les fibres afférentes qui transmettent le toucher, la discrimination et la pression provenant de la face et de la cavité buccale.

Le noyau mésencéphalique serait lié à l'oculomotricité et à la proprioception fine qui permet l'ajustement précis et rapide du positionnement, statique aussi bien que dynamique, de la mandibule par les réponses motrices qu'il suscite.

La voie mésencéphalique provient des fuseaux neuro-musculaires et de certains mécanorécepteurs parodontaux ; les récepteurs tendineux de Golgi, les mécano-récepteurs de l'ATM et certains mécanorécepteurs parodontaux utilisent la voie du complexe nucléaire spinal du V [60].

Le rôle de coordination et de contrôle de la majorité des fonctions impliquant le système nerveux est reconnu au cervelet, structure supra-segmentaire, et concerne aussi la mémorisation et l'intégration des mécanismes acquis de la mastication ; en particulier, les informations issues des récepteurs parodontaux permettraient le 0 d'ouverture buccale (en occlusion) pour corriger la précision du réflexe massétérein ou affiner l'ajustement des mouvements de mastication [61].

Le système trigéminal et la régulation du tonus postural

Les connexions existant entre les systèmes trigéminal d'une part, proprioceptifs oculomoteur et cervical d'autre part, les impliquent directement dans les réflexes oculo-céphalogyres.

Buisseret [62] a conduit des travaux d'anatomie neurologique sur les récepteurs proprioceptifs des muscles oculaires et leurs liens avec les noyaux du trijumeau et la couche intermédiaire de la corne dorsale de la moelle qui reçoit des afférences provenant des muscles cervicaux.

Les récepteurs des muscles oculaires activés expérimentalement peuvent entraîner chez l'homme des ajustements de la posture de la tête et du tronc, comme l'a montré Roll [63].

La sensibilité proprioceptive crânio-faciale implique les systèmes vestibulaire et trigéminal.

Ces relations anatomiques et fonctionnelles plaident en faveur d'un rôle significatif du système trigéminal dans le contrôle de l'équilibre céphalique, non seulement au cours de la dynamique manducatrice, mais aussi dans le maintien de la posture. Expérimentalement provoquées, les activités musculaires mandibulaire et cervicale sont strictement parallèles [64]. Strazielle, en 1996 [61], définissait l'ensemble crânio-facial comme formant un bloc fonctionnel pair et symétrique. Ses constituants – dents et leurs surfaces de contacts, éléments osseux, articulaires, tendineux, musculaires qui animent les ATM – sont intégrés dans un équilibre dynamique unique sous la direction et le contrôle du système nerveux central. En 2000, Erikson et al. ont pu dire que s'il existe une relation fonctionnelle entre le système temporo-mandibulaire et crânio-cervical, un changement d'équilibre et de symétrie fonctionnelle de tout le système peut être la conséquence d'une modification d'un seul facteur, au niveau du système dentaire par exemple.

En effet, chaque dent, par son anatomie, et chacune des arcades dentaires dans leur ensemble orientent la mobilité mandibulaire lors des contacts avec la dent et l'arcade antagoniste. Ces régulations complexes sont à l'origine de compensations anatomiques, conséquences ou causes d'une dissymétrie fonctionnelle que l'examen clinique est capable de détecter et qu'une thérapeutique fonctionnelle peut corriger dans une certaine mesure. Les différentes parties du corps adoptent une forme géométrique optimale que résume la formule de D'Arcy Thomson (1994), dans *Forme et Croissance* : « En bref, la forme d'un objet est un diagramme de forces. » Une asymétrie des structures osseuses signe bien une asymétrie fonctionnelle ; les forces sont transmises et orientées par le jeu musculaire et tendineux, acteur de cet équilibre dynamique sous contrôle du système nerveux. Les travaux de paléontologie fonctionnelle de Leroy-Gouran (1983) précisaient déjà que la forme de la mandibule dépend de l'activité et du volume des muscles masséters chez les herbivores et des muscles temporaux chez les carnivores ; ces muscles élévateurs sont tous deux innervés par le trijumeau moteur.

L'odontologiste : de sa compétence à la posture

L'odontologiste observe et mesure les signes de la dissymétrie des pièces osseuses portant les dents, conséquences de ces évolutions. Il note ainsi à l'examen statique, exobuccal, l'aspect général du visage sur la colonne cervicale, le niveau des épaules, la position des points gonion ; à l'examen endobuccal, une non-concordance, par rapport à l'axe général du visage, des points milieux inter-incisifs et des arcades dentaires supérieure et inférieure de forme irrégulière. Les moulages qu'il réalise à partir des empreintes des arcades, référencées par rapport à des structures crâniennes, confirment ses impressions initiales. Il peut ainsi lire la différence de forme des deux maxillaires supérieurs, droit et gauche, de part et d'autre du raphé médian, lui-même courbe parfois. L'examen radiographique révèle, quant à lui, des différences de volumes des condyles mandibulaires, mais aussi des branches montantes et horizontales, constitutives de l'arc mandibulaire.

Les articulations temporo-mandibulaires s'adaptent elles aussi. Des travaux expérimentaux, confortant le concept que le cartilage condylien est un périoste chondrifié, ont démontré qu'en phylogenèse comme en ontogenèse, il existe un rapport direct entre la forme des structures des ATM et leur fonctionnalité [65].

Chaque dent présente une forme appropriée à ses fonctions de trituration et de calage, comme l'examen dynamique des phases de mastication puis de stabilisation de la mandibule permet de le constater. Leur position dans l'espace facial est directement définie par la manière dont l'ensemble des deux arcades dentaires courbes et normalement symétriques fonctionne car la position verticale, sagittale et antéro-postérieure de chacune des dents est le résultat optimal de l'application des forces auxquelles elle est soumise. La position d'occlusion dentaire en inter-cuspidation maximale (OIM) se caractérise par le plus grand nombre de contacts inter-arcades : ces rapports dentaires dirigent la situation des condyles dans les cavités glénoïdes. La position idéale de la mandibule en OIM, dite occlusion en relation centrée (ORC), signe l'harmonie des éléments ostéo-musculo-articulaires. Le calage dento-dentaire, c'est-à-dire les rapports les plus serrés des dents antagonistes entre elles, assure la stabilisation de la position mandibulaire en OIM ; elle est réalisée avec un fort recrutement musculaire. La mandibule est le plus souvent en position de repos ou d'équilibre postural, caractérisé par l'absence de contacts interdentaires, les muscles élévateurs et abaisseurs étant en équilibre avec les forces de gravité, et une position neutre des condyles sans contraintes anatomiques des structures articulaires. Le trijumeau contrôle toutes ces fonctions. Entre la langue et la voûte palatine, existe l'espace de Donders. Woda rappelait en 2001 que la pression négative à ce niveau participe au maintien de la fermeture buccale sans effort.

La denture guide les trajectoires d'accès à la position mandibulaire en OIM, mais aussi celles des mouvements mandibulaires. Chez l'Homme, la mastication comporte des mouvements de latéralité, idéalement symétriques ou bien préférentiellement latéralisés à droite ou à gauche. La situation anatomique du plan d'occlusion, celui qui joint les dents en contact, est ainsi la conséquence mais aussi un facteur d'entretien de ses anomalies fonctionnelles : une asymétrie de

position mandibulaire, caractérisée par une déviation mandibulaire, peut devenir une dissymétrie anatomique des arcades et des maxillaires. Conséquences du rapport direct entre la forme et la fonction, les activités que régulent le système musculaire et le système nerveux conditionnent cette évolution. Elle peut se manifester, comme tout phénomène de compensation, par des signes d'hyper-tonie plus ou moins discrets, plus ou moins éloignés de l'élément déclencheur initial, et par des pathologies articulaires douloureuses. Si une dissymétrie anatomique observée de la mandibule ou du maxillaire supérieur n'est pas le signe d'un syndrome malformatif, on peut la considérer comme la conséquence d'une dissymétrie fonctionnelle du jeu musculaire de l'équilibre postural contrôlé par les noyaux vestibulaires du nerf auditif ou bien des fonctions et parafunctions faciales contrôlées par le trijumeau. La réorientation des processus contrôlés par le V – et le cervelet – lors de parafunctions entraîne une modification anatomique qui bloque le rétablissement spontané de la symétrie, mais conduit à l'établissement de compensations multiples ; ces compensations sont locales sur la face, mais peuvent se révéler aussi à distance, particulièrement au niveau de la colonne cervicale et de la posture. En orthopédie dento-faciale précoce et fonctionnelle, la mastication unilatérale alternée obtenue autorisera une croissance oro-faciale harmonieuse et symétrique en respectant l'équilibre corporel et postural ; les modifications anatomiques obtenues après thérapeutique chez le sujet plus âgé sont plus limitées, mais permettent de gérer une décompensation des phénomènes d'asymétrie tonique. Que le diagnostic local soit demandé à la suite de tests posturaux évocateurs ou établi spontanément par l'odontologiste, il est un préalable indispensable à la recherche des conséquences de ces dys-fonctions sur l'aplomb ; le choix d'une solution thérapeutique bénéficie alors des échanges entre praticiens dont les compétences sont complémentaires. Au-delà du constat du changement anatomique au niveau facial, l'odontologiste analyse sa genèse et la façon dont il évolue : dans la mesure où ces évolutions sont localement tributaires du trijumeau, comme le laisse penser cet aperçu, on perçoit la complémentarité des solutions qu'offrent à ces praticiens les orthèses de stimulation proprioceptive dites « alphas » et les systèmes thérapeutiques véritablement fonctionnels décrits par Pedro Planas dans la *Réhabilitation neuro-occlusale* [66] visant à changer, par le mouvement, les rapports dento-dentaires.

3.3. La posture et la latéralité

Laurent Jaïs

L'*Homo erectus* est un *homo* « oblicus ». L'homme debout est donc asymétrique, jamais immobile, en perpétuelle recherche d'équilibre grâce à un système très élaboré de capteurs qui se compensent les uns les autres. C'est la rupture de cette compensation qui peut créer une pathologie biomécanique, ou autre, et non l'asymétrie [67]. Il faut se méfier des symétries, même si certains

auteurs privilégient la biomécanique et proposent de corriger toute asymétrie posturale, jugée pathogène, tout en reconnaissant que **90 % des individus sont asymétriques**. Il convient alors de distinguer les asymétries corticales des asymétries posturales orthostatiques, auxquelles on pourrait ajouter les asymétries structurelles (malformations, asymétries d'ossification, crânio-faciales, post-traumatiques ou chirurgicales...). De plus, lorsque l'on évoque la latéralité, outre la confusion fréquente corticale-posturale – bien que les relations puissent être étroites et provoquer, comme on le verra, des perturbations –, certains ne pensent qu'à la main, quand ce n'est pas uniquement l'écriture.

Introduction et définitions

Dès 1865, Broca pose le premier la question du rôle fonctionnel des 2 hémisphères et du lien entre la spécialisation de l'hémisphère gauche pour le langage et la préférence et l'habileté supérieure de la main droite dans les comportements moteurs, suivi par Wernicke et Dejerine pour d'autres fonctions gestuelles dans l'hémisphère gauche. D'autres auteurs observent la prévalence des fonctions hémisphériques droites comme les tâches visuo-spatiales, attentionnelles, ainsi que la perception visuelle des visages.

- ▷ On parle de spécialisation de l'hémisphère pour une fonction donnée et de latéralisation d'une fonction à un hémisphère, tout en sachant qu'un hémisphère n'est jamais le seul impliqué dans une fonction et qu'une fonction n'est jamais strictement localisée à un hémisphère, grâce à la richesse des connexions inter-hémisphériques au niveau du corps calleux.

Depuis une vingtaine d'années, plusieurs chercheurs en neurosciences étudient les relations entre latéralité manuelle, posture érigée et émergence du langage [68]. Ils reprennent l'hypothèse phylogénique du développement d'une latéralité par l'acquisition d'un geste complexe – la taille de la pierre –, entraînant le développement de structures cérébrales propices à l'apparition du langage en créant une asymétrie fonctionnelle. La latéralité de l'homme aurait donc été rendue possible par la posture verticale et favorisée par l'exercice de tâches motrices asymétriques préférentiellement manuelles [69]. D'autres relient l'organisation du langage au pied « préférentiel » [70] plutôt qu'à la main [71], celui-ci nous en apprenant plus sur la maturation neurale motrice.

Au contraire, à la suite de nombreux travaux de Geschwind [72], et aidés depuis peu par l'imagerie fonctionnelle, certains pensent que l'asymétrie fonctionnelle n'est pas une conséquence comportementale chez l'adulte, mais semble préexister génétiquement. Divers facteurs innés ou environnementaux vont agir sur le déroulement normal et influencer sur la latéralisation (facteurs biologiques, hormonaux, traumatiques, de stress...) (Galaburda [72]). Outre l'imagerie par IRM, l'ontogenèse semble leur donner raison en retrouvant l'asymétrie corticale sur le cerveau des nouveau-nés et de fœtus dès la 30^e semaine de grossesse, avec même une asymétrie plus fréquente chez l'adulte. Entre 3 mois et 1 an, le bébé saisit des objets avec l'utilisation bien marquée d'un

pouce ; entre 1 et 3 ans, avec l'acquisition de la marche, les mouvements sont plus complexes, il contrôle ses sphincters ; le passage de la quadri à la bipédie modifie son rapport visuel à l'environnement et son système vestibulaire est en place, ainsi que le langage articulé pour aboutir à une latéralisation définitive entre 3 et 5 ans, selon les auteurs. Tomatis, de son côté, montre le rôle de l'audition in utero et note l'importance du son analysé, plus rapidement, par l'oreille droite – hémisphère gauche – sans passer par le corps calleux.

La théorie GBG (Geschwind-Behan-Galaburda [72]) semble la plus pertinente. Elle relie l'asymétrie anatomique du cortex cérébral au niveau du planum temporalis – région du cortex auditif associatif à la face supérieure du lobe temporal – et la latéralisation fonctionnelle. Cette asymétrie est en faveur de l'hémisphère gauche (65 à 70 %) avec un planum gauche plus important (droitiers absolus et homogènes), les 30 à 35 % restants présentant deux plans identiques avec un planum droit aussi développé que le gauche chez les droitiers absolus. Chez ces derniers, on retrouve des latéralités croisées, main-œil-pied, ou des gauchers absolus – pour lesquels la zone du langage peut se situer dans l'hémisphère droit – ou encore les deux ; les causes environnementales, liées à la grossesse ou la naissance, semblent aussi importantes que les causes génétiques et à l'origine de pathologies diverses (troubles immunitaires, dyslexie, troubles rachidiens, rôle sur la mémoire ou la spatialisation, etc.).

Deux théories du développement de la latéralisation cérébrale sont proposées :

- la théorie équipotentielle de Lenneberg (1967), selon laquelle les 2 hémisphères ne sont pas spécialisés à la naissance, mais le seraient graduellement avec l'âge pour se stabiliser à la puberté ;
- la théorie de Kinsbourne (1975 [73]), suggérant que le fonctionnement asymétrique est constant au cours de la vie, même pendant l'enfance, qui a notre préférence.

Si les travaux sur les asymétries posturales sont nombreux, c'est souvent la cacophonie dès que la latéralité est évoquée : Gagey retrouve grâce au test des Index (Romberg) une déviation latérale avec translation du tronc vers la gauche, sur 105 ouvriers du bâtiment ; Lacour [74] confirme, chez le droitier, une dominance du labyrinthe gauche, induisant des effets toniques plus prononcés à gauche ; Weber [75] note que la projection du centre de pression est à gauche chez 70 % des sujets ; Da Cunha que le pied d'appui non dominant est dans la direction opposée au regard ; Baron et Gagey [76] que le pied pivot se définit par rapport à l'axe de rotation lors du test de piétinement. Azémar et Ripoll [77], quant à eux, différencient pied d'appel et pied d'appui selon les sports pratiqués : l'athlétisme, avec les sauts et les impulsions, privilégie le pied gauche en avant et le pied droit propulseur pour favoriser le maximum de force ; les sports d'opposition impliquent une contrainte visuo-spatiale différente, avec des latéralités croisées main-œil-pied pour conditionner la coordination globale du mouvement, comme le montrent Perennou et Amblard [78] avec le rôle prédominant de l'hémisphère droit dans le contrôle de la stabilité du corps.

Lors de la marche, Costagliola [79] montre que le balancement des membres supérieurs se fait en opposition à celui des membres inférieurs (recessus

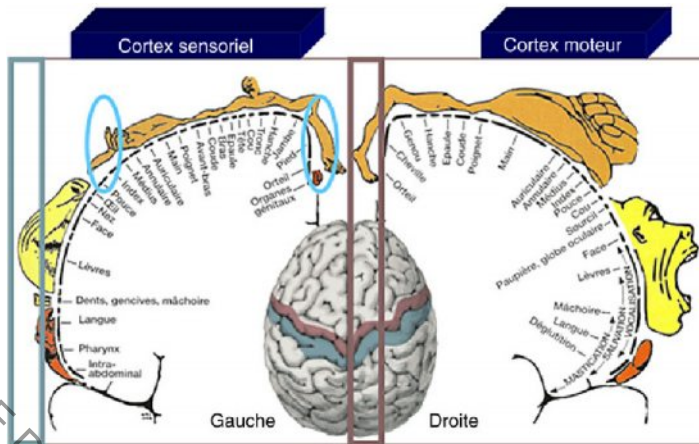


FIGURE 3.4. Cortex sensoriel et cortex moteur primaires.

On note l'importance du pouce par rapport au pied dans le cortex sensitif.

archaïque de la quadrupédie). De même, Fecteau et Bricot lient l'inclinaison latérale des épaules en fonction de la dominance manuelle avec une tendance variante du pied. Helbert établit un rapport entre la dominance visuelle et la jambe courte.

Certains travaux ont envisagé les asymétries des différentes entrées et leurs conséquences. Peu, par contre, ont considéré les asymétries posturales orthostatiques en rapport avec la latéralité main-œil-pied. Les bilans cliniques et stabilométriques qui en tiennent compte sont encore moins nombreux.

Nous savons que la préférence manuelle peut être influencée par la pression culturelle et que la main ne se cantonne pas à la préhension ou l'écriture, mais également à différentes tâches motrices qui impliquent soit la pince pouce-index, soit une gestualité unilatérale variable (lancer, poussée, précision, etc.). Il suffit de constater l'importance du pouce par rapport au pied dans l'homunculus moteur et sensoriel (figure 3.4).

En tenant compte de toutes ces données, il semble nécessaire d'établir des tests spécifiques qui intègrent les différentes composantes motrices gestuelles, attentionnelles, globales ou fines, de la main, de l'œil et du pied [67].

Les tests de latéralité

Les critères de latéralité ont été étudiés selon des tests pour le pied (tableau 3.1), la main (tableau 3.2) et l'œil (tableau 3.3).

Après avoir déterminé, à l'aide de ces grilles de tests, la dominance manuelle (droitier, gaucher, ambidextre), podale (D, G, ambipède) et oculaire (D, G ou les rares « ambioculaires »), depuis 1987, tous les patients d'un cabinet en libéral sont répartis selon 8 profils¹, MOP, MOp, MoP, Mop, mop, mOp, mOP, moP, où :

1. Ont été exclus les ambidextries, ambipédies et ambioculies, peu fréquentes, mais qui pourraient constituer un 9^e profil.

TABLEAU 3.1. Tests de latéralité pour le pied.

	Pied	Gauche	Droit
1	On différencie le pied moteur dynamique d'appel ou pied postural dominant PPD (qui démarre, initie) et le pied pilier ou d'appui (comme pour la trottinette) non dominant.		
1	Pousser le sujet – pas trop fort – brusquement par-derrière : le pied moteur s'avance en premier. Le test est répété 2 à 3 fois et les résultats peuvent être discordants chez les ambipèdes. On peut lui préférer d'autres tests : se placer dos à un mur et courir au signal donné : le PPD est posé en premier ; creuser avec une pelle : le PPD se pose sur elle.		
1	Monter sur un marche-pied : le PPD est levé en premier.		
1	Sauter au-dessus d'un marche-pied : le PPD touche le sol en premier.		
1	Shooter, en force, dans un ballon en mousse : le PPD tape le ballon.		
1	Shoot d'adresse : placer avec « le pied » une balle de golf entre 2 cibles espacées de 10 cm. Le PPD tape la balle.		
1	En position assise, croiser les jambes : le pied dominant est au-dessus. Autre test possible : faire la toupie, en tournant debout sur un pied.		
1	Sauter en ciseau ou à cloche pied : le pied d'appel dominant moteur est levé.		
1	Taper du pied par terre pour exprimer un mécontentement.		
1	Attraper un objet avec les orteils.		

La dominance est déterminée par un score supérieur à 7.

TABLEAU 3.2. Tests de latéralité pour la main.

	Main	Gauche	Droit
1	Écrire (il convient de vérifier également la prise de crayon pouce-index ou autre, ainsi que la position du corps devant la feuille).		
1	Croiser les mains : le pouce dominant est au dessus.		
1	Croiser les bras : la main dominante est sur le bras opposé.		
1	Applaudir : la main dominante tape, la main dominée reçoit.		
1	Serrer une raquette (différencier tennis, ping-pong, club de golf).		
1	Prendre un objet sur une table.		
1	Visée (adresse) : lancer une fléchette ou passer un fil dans le chas d'une aiguille.		
1	Lancer (force) : lancer une balle contre des boîtes de conserve (fête foraine).		
1	Distribuer des cartes.		
1	Se brosser les dents.		

La dominance est déterminée par un score supérieur à 7.

TABEAU 3.3. Tests de latéralité pour l’œil.

	Œil	Gauche	Droite
2	Attraper un carton troué en son centre entre le pouce et l’index de chaque main. Horizontal, bras tendus avec le carton dans les mains, fixer une cible ou l’objet et le rapprocher de l’œil.		
2	Debout, fixer un objet ou une cible avec le carton dans les mains, sur une table, et le rapprocher de l’œil.		
2	Stylo vertical, rapprocher le stylo du nez avec le bras droit, puis avec le bras gauche, et noter l’œil qui fixe.		
2	Regarder dans le viseur d’un appareil photo.		
2	Pour un enfant, former un pistolet avec doigts de la main et simuler une visée du pouce vertical : l’œil dominant reste ouvert.		

La dominance est déterminée par un score supérieur ou égal à 8.

- M est main droite dominante ;
- m est main gauche dominante ;
- O est œil droit dominant ;
- o est œil gauche dominant ;
- P est pied droit dominant ;
- p est pied gauche dominant.

Résultats

On trouve une « manualité » droite de 88 % (M), 10 % pour la gauche (m) et 2 % d’ambidextres (Mm), une « podestralité » de 90 % à 93 % à droite, qui semble varier selon le sexe, et de 7 % à 10 % à gauche. La dominance oculaire montre 65 % de droitiers (O), 33 % de gauchers (o) et 2 % (Oo) qui utilisent aussi bien l’œil droit que le gauche. On a donc 68 % à 70 % de droitiers homogènes, 2 % de gauchers homogènes et le reste variant.

Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude [67] sont similaires à ceux de la littérature [80, 81], qui dénombrent 60 % de droitiers homogènes MOP (où l’hémisphère gauche joue un rôle majeur), les autres se répartissant en gauchers homogènes MOP (2 %, avec prédominance de l’hémisphère droit et une gestion de l’attention visuelle dans l’espace/action). Les gauchers manuels sont au nombre de 10 % avec différentes variantes et il existe 30 % de droitiers manuels avec latéralités croisées œil-pied, le pied gauche variant de 7 % à 10 % [82]. Dans ces travaux, la dominance de la main a surtout été étudiée, la latéralité manuelle ne considérant parfois que le côté qui écrit !

Constats cliniques

En cas de Spine Cranio-Ubiquitary Dysfunction (SCUD ou syndrome crânio-rachidien diffus) et de fibromyalgie, les profils dyslatéralisés (ou gauchers homogènes) semblent plus fréquents, de même que la prévalence des parafunctions (bruxisme, serrement de dents, etc.) entraîne des troubles du sommeil caractéristiques avec une asthénie et des algies (migraines, céphalées, rachialgies) matinales [83].

Ainsi, si le profil MOP ne présente pas de particularité clinique spécifique, comme le dit Geshwind [72], on retrouve par exemple des rachialgies basses ou des déviations scoliotiques lombaires du côté du pied dominant pour les autres profils. Aussi :

- le profil mOP présente 98 % de bruxisme (serrement de dents), avec un fort taux de fibromyalgies ou de dyslexies ;
- le profil moP présente un fort taux de scolioses dextro convexes lombaires ;
- le profil mOP présente des parasomnies et un terrain atopique moyen, de même que le Mop qui présente en outre une fréquence accrue de rachialgies gauches ;
- le profil MOp se caractérise par de fréquentes migraines, des vertiges paroxystiques positionnels bénins (VPPB), une colopathie droite et une scoliose sinistro convexe lombaire.

Azémar, à la suite de Wallon [84], pense qu'il y a un effet sexe pour le pied, sur lequel les facteurs culturels de l'enfance joueraient un rôle : la marelle favorise l'ambipédie pour la fille et le football la monopédie chez le garçon. Au contraire, Bryden [85] pense que la différence de latéralisation du pied homme-femme est une cause et non une conséquence de facteurs culturels. De même, la meilleure qualité visuo-spatiale chez l'homme et la meilleure efficacité pour les tâches verbales chez la femme s'expliqueraient par une latéralisation moins homogène ou inversée chez la femme, avec une anatomie du corps calleux différente et des liaisons inter-hémisphériques plus intenses. Selon l'auteur, ces éléments conforteraient les études sur le SCUD et la fibromyalgie qui notent une prévalence féminine pour ces pathologies et l'incidence plus forte des parafunctions (bruxisme) chez les femmes avec des latéralités croisées ou homogènes à gauche. L'incidence hormonale – cycle menstruel, ménopause – serait aussi importante. Mais les études sur l'effet sexe avec des critères stricts de latéralité sont peu abondantes, la manualité étant presque exclusive pour déterminer la latéralité.

Différentes études en IRM fonctionnelle ont confirmé les résultats de Witelson et la théorie GBG en mettant en évidence le lien entre asymétrie anatomique corticale et latéralisation fonctionnelle, et en montrant une influence très significative du sexe sur le lien entre taille du corps calleux et degré de manualité. Il serait également intéressant d'utiliser ces 8 profils de latéralité pour vérifier le rôle de la pedestralité et de l'oculo-dominance, et les variations du corps calleux dans ces différents profils de gauchers ou droitiers non homogènes. Peut-être la moindre latéralisation fonctionnelle, ainsi que les fonctions motrices

et cognitives reposant plus sur le transfert hémisphérique que la majorité des franchement latéralisés s'expliquent par le fait que ceux-ci ont un corps calleux plus vaste que les droitiers homogènes ?

Des études en IRM fonctionnelle, tenant compte de ces 8 profils, pourraient valider l'hypothèse soutenue dans ce texte sur certaines pathologies, comme la fibromyalgie et la migraine, ou chez les dyslatéralisés durant le sommeil. Certains neurones moteurs manducateurs échapperaient à l'inhibition médullaire d'origine réticulaire, en relation avec les neurones oculaires moteurs, avec transferts inter-hémisphériques perturbant le sommeil paradoxal et entraînant des parafonctions et perturbations du tonus postural.

Dans le débat asymétrie corticale/asymétrie fonctionnelle, il semble, et cela rejoint en l'élargissant l'hypothèse GBG, que si l'asymétrie corticale existe dès la naissance ou in utero, elle peut se modifier dans certains cas sous l'influence de facteurs hormonaux ou traumatiques et créer alors une asymétrie fonctionnelle. L'incidence des facteurs culturels serait alors minime.

Conclusion

Les conséquences de la latéralité sur la posture restent peu étudiées. Elles pourraient faire l'objet de recherches plus approfondies afin de déterminer leurs implications. Les constats cliniques décrits dans ce chapitre permettent d'intégrer la latéralité, au sens large, dans la compréhension et le traitement de pathologies chroniques résistantes à différentes thérapeutiques. Ainsi, certaines scolioses, fibromyalgies ou SCUD pourraient bénéficier de traitements prenant en compte la dyslatéralisation pour orienter notamment la rééducation.

Bibliographie

Les réflexes de posture : dynamique de la stabilité

1. Fukuda T. The stepping test. Two phases of the labyrinthine reflex. Acta Otolaryngol. (Stockh.) 1959;50:95-108.
2. Fukuda T. Vertical writing with eyes covered. A new test of vestibulo-spinal reaction. Acta Otolaryngol. (Stockh.) 1960;50:26.
3. Gagey PM, Baron JB, Ushio N. Introduction à la posturologie clinique. Aggressologie 1980;21. E : 119-123.
4. Parpay S, Villeneuve P. Examen clinique postural. Rev podologie 1991;59:37-44.
5. Darwin CR. The expression of the emotions in man and animals. 1st edition London: John Murray; 1872.
6. Richet Ch. La peur, étude psychologique. Revue des Deux Mondes, tome 76, 1886.
7. André-Thomas. Le réflexe pilomoteur. Paris: Masson; 1921. 242 pages.
8. Garnier M, Delamare V. Dictionnaire des termes techniques de médecine. Maloine; 1985. 873 pages.
9. Descartes R. Traité de l'Homme. Paris: Jacques Le Gras; 1648.
10. Willis T. « Cerebri anatome ». Amstelodami: apud Gerbrandum Schagen, 1666, 342 p.
11. Erb WH. Über Sehnenreflexe bei Gesunden und bei Rückenmarkskrankheiten. Arch F Psychiatr Nervenkr 1875;5:792-802.
12. Westphal C. Über einige Bewegungs-Erscheinungen an gelähmten Gliedern, II: Über

- einige durch mechanische Einwirkung auf Sehen und Muskeln hervorbrachte Bewegungs-Erscheinungen, dans Archiv. Psychiatr. Nervenkr 1875;5:803–34.
13. Babinski J. Sur le réflexe cutané plantaire dans certaines affections du système nerveux central. Comptes rendus des sciences et mémoires de la société de biologie. 1896; 3: 207–208.
 14. Perez B. Étude de psychologie expérimentale : Les trois premières années de l'enfant. G. Baillière et cie; 1878. 294 pages.
 15. Galant S. Der Rückgratreflex: ein neuer Reflex im Säuglingsalter mit besonderer Berücksichtigung der anderen Reflexvorgänge bei den Säuglingen. Doctoral dissertation. Basel: Basler; 1917.
 16. Moro E. Das erste Trimenon". *Münchener Medizinische Wochenschrift* 1918;65:1147–50.
 17. André-Thomas. Les premiers automatismes, 22. Presse méd; 1943.
 18. Hooker D. A preliminary atlas of early human fetal activity. Published by the author; 1939.
 19. Olhweiler L, Da Silva AR, Rotta NT. Primitive reflex in premature healthy newborns during the first year. *Arq Neuropsiquiatr*. 2005 Jun;63(2A):294–7.
 20. Gesell A. The Tonic Neck Reflex in the Human Infant. *J. Pediatr* 1938;13:455.
 21. Silver AA. Postural and righting responses in children. *The Journal of Pediatrics* October 1952;41(4):493–8.
 22. Benders L. Childhood schizophrenia. *Am. J Orthopsychiat*. 1947;17:40.
 23. Kramer Y, Rabkin R, Spitzer RL. Whirling as a clinical test in childhood schizophrenia. *J Pediatr* 1958 Mar;52(3):295–303.
 24. Matheron E. Test de Maddox (stries verticales) et syndrome de déficience posturale. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique : Dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Masson; 2007. p. 44–51.
 25. Garrigues B. Les anomalies de localisation spatiale visuelle de l'enfant dyslexique. Étude préliminaire. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique : Dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Masson; 2007. p. 71–5.
 26. Magnus R. *Körperstellung*. Berlin: Springer; 1924.
 27. Hellebrandt FA, Houtz SJ, Partridge MJ, Walters CE. Tonic neck reflexes in exercises of stress in man. *Am J Phys Med* 1956 Jun;35(3):144–59.
 28. Tokizane T, Murau M, Ogata T. Electro-myographic studies on tonic neck, lumbar, and labyrinthine reflexes in normal persons. *Jpn J Physiol* 1951;2:430–46.
 29. Curry EL, Clelland JA. Effects of the asymmetric tonic neck reflex and high-frequency muscle vibration on isometric wrist extension strength in normal adults. *Phys Ther* 1981 Apr;61(4):487–95.
 30. Gurfinkel VS, Lebedev MA and Levick YS. What about the so-called neck reflexes in humans. *The Head-Neck Sensory Motor System*, publié par Alain Berthoz, Pierre Paul Vidal, Werner Graf, 1992.
 31. André-Thomas. *La fonction cérébelleuse*. Paris: Doin; 1911.
 32. Zafeiriou DI. Primitive reflexes and postural reactions in the neurodevelopmental examination. *Pediatr Neurol* 2004 Jul;31(1):1–8.
 33. Blasco PA. Primitive reflexes. Their contribution to the early detection of cerebral palsy. *Clin Pediatr (Phila)*. 1994 Jul;33(7):388–97.
 34. Gagey PM, Debruille O. Analyse séquentielle du test de piétinement. Son application à l'étude du réflexe nuel. *Approche théorique. Agressologie* 1979;20(B):125–6.
 35. Gagey PM, Baron JB. Influence des mouvements oculaires volontaires sur le test de piétinement. *Agressologie* 1983;24:117–8.
 36. Hoff H, Schilder P. *Die Lagereflexe Des Menschen; Klinische Untersuchungen Uber Haltungen Und Stellreflexe Und Verwandte Phänomene – Hardcover* (1927).
 37. Futagi Y, Otani K, Imai K. Asymmetry in plantar grasp response during infancy. *Pediatr Neurol* 1995 Jan;12(1):54–7.

38. Villeneuve P, Jongit N, Villeneuve-Parpay S. Détermination du seuil maximal et minimal des baropresseurs podaux entraînant une variation du tonus postural. 9^e Réunion SERMLO Laboratoire de physiologie du mouvement CNRS-URA 631 Université Paris-sud XI. 1992.
39. Jongit N, Villeneuve-Parpay S, Villeneuve P. Détermination des seuils de perception des baropresseurs plantaires. Variations en fonction du sexe et de l'âge. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Paris: Frison-Roche; 1996. p. 61–5.
40. Villeneuve P. Traitement manuel du membre inférieur et du bassin. *Le Podologue* Août 1992;12–20.

La question des afférences manducatrices et buccales : les afférences trigéminales

41. Meyer J, Baron J-B. Participation des afférences trigéminales à la régulation tonique posturale. Aspects statiques et dynamiques. *Agressologie* 1976;17(A):33–40.
42. Servière F. *Rapports mandibulo-crâniens et posture. Approche baropodométrie*. Thèse DSO, Reims, 1988.
43. Clauzade MA, Darraillans B. *Concept ostéopathique de l'occlusion*. Perpignan: SEOO; 1989.
44. Nahmani L. *Kinésiologie. Théorie et pratique*. I. Paris: Comedent; 1990.
45. Travell J. *Temporomandibular joint pain referred from muscles of the head and neck*. J. Prosthet. Dent 1960;10:745–63.
46. Bonnier LR. Rapports crânio-mandibulaires. In: Gagey PM, Weber B, editors. *Posturologie, régulation et dérèglements de la station debout*. Paris: Masson; 2004. p. 134–40.
47. Perraud M, Villechevrolle O, Vienne JY, Hoorlart A, Unger F, Mainetti J. Influence de la modification de l'occlusion sur la posture et l'oculomotricité. In: Gagey PM, Weber B, editors. *Entrées du système postural fin*. Paris: Masson; 1995. p. 81–7.
48. Bonnier LR, Marucchi C. Système tonique postural et occlusion dentaire. En quoi ophtalmologistes et chirurgiens-dentistes sont-ils concernés ? In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre. Aspects développementaux, méthodologiques, perceptifs et cliniques*. Montpellier: Sauramps médical; 1999. p. 147–54.
49. Perez PR. *Troubles posturaux d'origine temporo-mandibulaire. Voies réflexes nociceptives et hypothèses explicatives*. In: Rougier P, Lacour M, editors. *De Marey à nos jours : un siècle de recherche sur la posture et le mouvement*. Marseille: Solal; 2006. p. 239–51.
50. Bonnier LR, Habif M. Prise en charge des ADAM par l'odontologiste. Un risque diagnostique méconnu : les visions défectueuses. *Chirurgien-dentiste de France* 2002;1083:239–41.
51. Ridet I, Bonnier L, Weber B. Orthoptistes et occlusion dentaire. *J. fr. Orthoptique* 2004;36:125–33.
52. Devoize L, Doméjean S, Melin C, Raboisson P, Artola A, Dalle R. *Organization of projections from the spinal trigeminal subnucleus oralis to the spinal cord in the rat. A neuroanatomical substrate for reciprocal orofacial-cervical interactions*. Brain Res 2010;1343:75–82.
53. Marucchi C. Coordimétrie de version, complément du bilan postural. *Agressologie* 1987;28(9):949–52.
54. Levy M, Coupin I, Weber B, Gagey PM. La modification de l'occlusion contrôlée par un test de Hess-Weiss entraîne-t-elle une modification de la verticale visuelle subjective ? In: Defebvre L, Lacour M, editors. *Posture et locomotion*. Marseille: Solal; 2011. p. 277–86.
55. Matheron E, Quercia P, Weber B, Gagey PM. Vertical heterophoria and postural deficiency syndroms. *Gait and Posture* 2005;21(sup 1):20–3. S 132.
56. Marino A, Quercia P. Stimulations trigéminales bipolaires : vers une orthodontie neurosensorielle au cours des dyslexies de développement. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique : Dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Masson; 2007. p. 44–51.
57. Roll R, Kavounoudias A, Roll J-P, Ribot-Giscar E, Albert F, Romaiguere P. La proprioception musculaire : sixième sens ou sens premier ? In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Pied, équilibre et traitements posturaux*. Paris: Masson; 2003. p. 23–34.

58. Gangloff P, Perin PP. Unilateral anesthesia modifies postural control in human subjects. *Neuroscience Letter* 2002;330:179–82.
59. Ambalavanar R, Montani A, Dessem D. Inflammation of cranio facial muscle induces widespread mechanical allodynia. *Neuroscience Letter* 2006 May 22;399(3):249–54.
60. Gresser Claire. Contribution à l'étude de la composante trigéminal dans la posture cervico-faciale -183f Th : Chir-dent : Nancy : 2005 ; 5007.
61. Strazielle C. — Étude neuroanatomiques des voies et sites trigéminaux et non trigéminaux impliqués dans le système manducateur à l'aide de marqueurs vitaux en fluorescence et histochimie. Thèse université Henry Poincaré, Nancy I, 1996.
62. Buisseret P. Projections primaires des récepteurs des muscles oculaires extrinsèques : résultats anatomiques. *Agressologie* 1991;32(2):178–9.
63. Roll J-P, et Roll R. Kinaesthetic and motor effect of extraocular muscle vibration in man. In: O'Regan JK, Lévy-Schoen A, editors. *Eye movements ; from Physiology to Cognition*. Elsevier Science Ltd; 1987. p. 57–68.
64. Kashima K, Maeda S, Higashinaka S. *Relationship between head position and the muscle hardness of the masseter and trapezius muscles : a pilot study*. *Cranio* 2006;24(1):38–42.
65. Mac Namara JA, Hinton RJ, Hoffmann DL. *Histologic analysis of temporo mandibular joint adaptation to protrusion function in young adult rhesus monkeys (macaca mulatta)*. *Am. J. Orth* 1984;288–98.
66. Pedro Planas. *Réhabilitation neuro-occlusale*. Paris: CDP; 2006.

La posture et la latéralité

67. Jaïs L, Laloum L, Gagey PM. Le syndrome de décompensation posturale. In: Thoumie P, Lacour M, editors. *De la recherche à la pratique clinique*. Paris: Solal; 2008. p. 257–66.
68. Roche H, Delagnes A, Brugal JP, Feibel C, Kibunjia M, Mourre V, et Texier JP. Early hominid stone tool production and technical skill 2.34 Mir ago in West Turkana. Kenya. *Nature* 1999;399:57–60.
69. Crow T. Sexual selection, timing and the descent of man : The theory of genetic origins of language. *Cahiers de Psychologie Cognitive* 1998;17:1079–114.
70. Coren S, Halpern DF. Left-handedness: A marker for decreased survival fitness. *Psychological Bulletin* 1991;109:90–106.
71. McNeillage P. The postural origins theory of primates neurobiological asymmetries. In: Krasnegor N, Rumbaugh D, Studdert-Kennedy M, Schiefelbusch R, editors. *The biological foundations of language development*. Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum; 1991. p. 165–8.
72. Geshwind, Behan, Galaburda. —Theory of cerebral lateralization: Developing of formal, causal modém. *Psychological bulletin*, Vol 110 n°2, 237-253.
73. Kinsbourne M. *The ontogeny of cerebral dominance*. *Ann NYork Acad Sci* 1975;263:244–50.
74. Lacour M, Bonnet M, Roll JP. *Effets spinaux d'une stimulation électrique chez l'homme*. *Acta oto-laryng* 1974;78:399–409.
75. Weber JL, Bonnevalle P, Clot J, Mansat M, Guiraud-Chaumeil B. Étude de l'empreinte plantaire au baropodomètre : Évolution de l'enfant à l'adulte. *Cinésiologie* 1983;22:128–37.
76. Gagey PM, Asselain B, Ushio N, Baron JB. Les asymétries de la posture orthostatique sont-elles aléatoires ? *Rev. Med. Trav* 1977;4:189–95.
77. Azémar G, Ripoll H. *Études des asymétries fonctionnelles chez les sportifs de haut niveau*. Paris: Exposé aux semaines de Neuropsychologie EMESS; 1981.
78. Perennou D, Amblard B, Laassel EM, et Pelissier J. Hemispheric asymmetry in the visual contribution to postural control in healthy adults. *NeuroReport* 1997;8. 3137-2141.
79. Costagliola J. La marche humaine, héritière de la locomotion animale. In: *Théories et modèles biologiques*. Paris: L'Hartmattan; 1999. p. 79–114.

80. Hecaen H. *Les gauchers*. PUF: Paris; 1984.
81. Annett M. *Left, right, hand and brain: The right shift theory*. London: Lawrence Erlbaum Associates (Eds); 1985.
82. Jaïs L. Posture et latéralité : De la latéralité en général et podale en particulier (intérêt du test de Hillel). In: Lacour M, editor. *Nouvelles méthodes de traitement du signal posturologique*. Marseille: Solal; 2004. p. 167-74.
83. Jaïs L. (1991). *Dysfonction crânio-mandibulo-rachidienne et Spine Craniomandibular Ubiquitary Dystonic Dyslateralisation Disorders (Scud)*. Le message mandibulaire, bruit de l'information posturale, Masson, 2, 89-116.
84. Wallon H, Evart-Chmielniski E, Sauterey E. (1958). Équilibre statique et en mouvement : double lateralisation (entre 5 et 15 ans). *Enfance* 1.
85. Bryden MP. Handness, cerebral lateralization, and measures of "latent left handedness". *International Journal of Neuroscience* 1989;44:289-96.

CHAPITRE 4

Fondements physiologiques
de l'aplombPierre Marie Gagey, Alain Scheibel

La physiologie de l'aplomb est décrite par le système postural d'aplomb, qui gère notre capacité à tenir droit debout. Un système comporte des entrées, une boîte noire et des sorties, mais l'étude de ce système est un peu particulière : on n'y parle que des entrées, c'est-à-dire de ces organes qui fournissent ou sont capables de fournir des informations sur la position du corps dans son environnement. Certains de ces organes, que l'on appelle « exo-capteurs », sont en relation directe avec l'environnement : ils sont représentés par l'entrée visuelle, l'entrée otolithique et l'entrée podale. D'autres organes n'ont pas de relations directes avec l'environnement, mais fournissent l'indispensable position réciproque des exo-capteurs. En effet, l'œil est mobile dans l'orbite alors que le vestibule est enchâssé dans le massif pétreux ; les informations de position fournies par ces deux organes ne peuvent pas être traitées conjointement sans tenir compte de leur position réciproque. Le même raisonnement vaut entre ces entrées céphaliques et l'entrée podale. On nomme « endo-capteurs » ces organes qui situent dans l'espace les exo-capteurs les uns par rapport aux autres. Ils sont représentés par la proprioception des muscles oculomoteurs et des muscles de l'axe corporel et par la proprioception cutanée.

La physiologie de l'aplomb ne s'occupe absolument pas de la « boîte noire », peu important les voies et centres nerveux utilisés pour le cheminement des informations et des commandes et pour l'intégration sensorielle. Cette négligence de l'organisation topologique du système nerveux central est un aspect de la réduction au pur phénomène opérée par la posturologie. Cette attitude épistémologique est étonnante, peut-être difficile à comprendre. Mais, pour le moment, sa rationalité n'a pas (du moins pas encore) été infirmée. Et nous constatons par ailleurs son efficacité.

Il est possible que la rationalité de cette réduction puisse être justifiée par le fait que la perspective anatomo-clinique traditionnelle en neurologie, et qui

ne concerne pas le système postural d'aplomb, est une perspective réduite au domaine spatial qui ne tient absolument pas compte de la chronologie. Or, la neurophysiologie admet que l'intégration sensorielle au niveau du neurone est tributaire de la chronologie des événements. Par conséquent, le timing de la série temporelle enchaînée des événements posturaux impose sa loi au réseau de neurones. Comme, pour le moment, nous n'avons aucune évidence sur ce timing, nous sommes bien forcés de l'ignorer.

Parmi les entrées du système postural d'aplomb, qui sont présentées dans la suite de ce chapitre, nous avons pris le parti de ne pas parler d'une « entrée » buccale et/ou linguale, mais plutôt d'une interférence mandibulaire. Un certain nombre d'évidences montrent pourtant qu'il est possible de modifier l'aplomb par des interventions en bouche, mais rien ne prouve que les informations sensorielles issues de la bouche soient susceptibles de situer le corps dans son environnement. Cette omission d'une entrée buccale est donc uniquement à porter au compte de la cohérence du langage posturologique, mais elle ne met absolument pas en question l'importance des informations buccales et/ou linguales dans le contrôle de l'aplomb.

4.1. Les otolithes et la régulation posturale

Michel Toupet, Myriam Achabbak

L'organe neurosensoriel de l'équilibre, le labyrinthe, partie postérieure de l'oreille interne ([figure 4.1](#)), est formé du vestibule qui contient les organes otolithiques, le saccule et l'utricule, et des trois canaux semi-circulaires ; la partie antérieure, la cochlée, est l'organe de l'audition. Le vestibule est sensible aux très basses fréquences, comme celles des mouvements de la tête, et la cochlée aux très hautes fréquences, notamment celles des vibrations sonores. Le labyrinthe osseux, formé d'os compacts, tel un coquillage, se situe à l'intérieur d'un os spongieux, le rocher ; il contient à son tour un labyrinthe membraneux, support de l'épithélium sensoriel proprement dit.

- ▷ La vascularisation de l'oreille interne est assurée par l'artère auditive interne, branche terminale elle-même branche de l'artère du conduit auditif interne, branche de l'artère cérébelleuse antéro-inférieure, elle-même première branche du tronc basilaire.

La taille de l'organe osseux est d'environ 1 cm ; le diamètre de chaque canal semi-circulaire osseux est d'environ 1 mm, celle du canal semi-circulaire membraneux est d'environ 0,1 mm. Alors que le système otolithique, saccule et utricule est sensible aux accélérations linéaires, y compris l'accélération permanente de la pesanteur, les canaux semi-circulaires ne sont sensibles qu'aux accélérations angulaires, les rotations de la tête. Les trois canaux semi-circulaires sont orientés

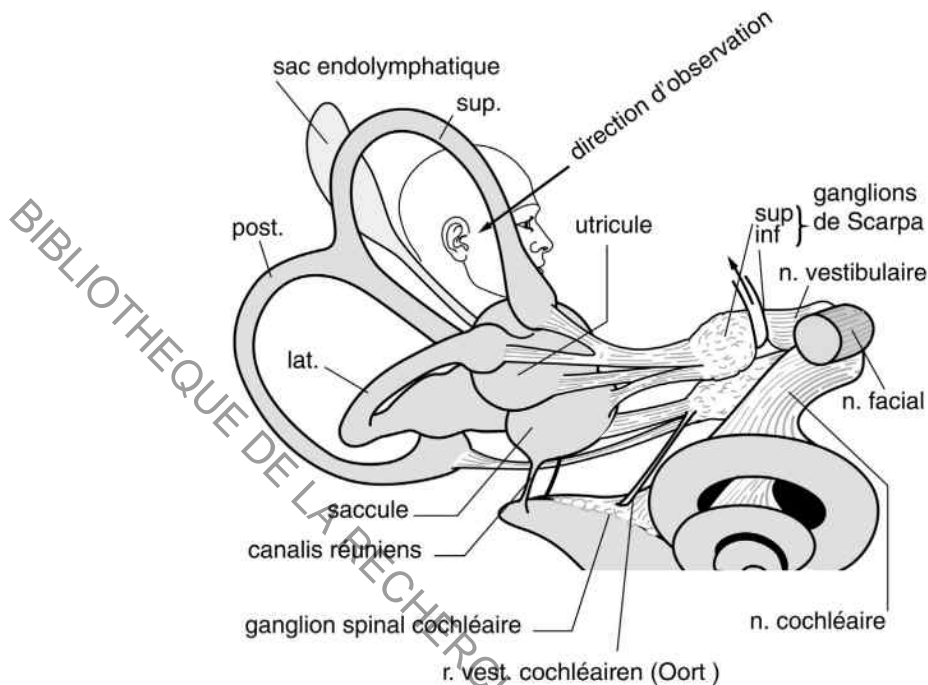


FIGURE 4.1. Labyrinthe membraneux, contenu dans le labyrinthe osseux.

Sa partie postérieure est formée du vestibule, contenant utricule et saccule, et des trois canaux semi-circulaires. Sa partie antérieure est formée de la cochlée en forme de colimaçon, l'organe de l'audition. On note également le canal et le sac endo-lymphatique. Le nerf vestibulaire est formé des deux contingents : le contingent supérieur qui reçoit les nerfs venant de l'utricule, du canal semi-circulaire supérieur et du canal semi-circulaire latéral, et le contingent inférieur qui reçoit l'information venant du canal semi-circulaire postérieur et du saccule.

D'après Burgeat, *Biophysique*, t. 3, Masson, 1973.

dans les trois plans de l'espace et disposés de façon orthogonale. Le canal semi-circulaire latéral est dans un plan passant par le nasion (la racine du nez) et les orifices des deux conduits auditifs externes, soit un plan légèrement relevé de 30° par rapport à l'horizontale. Les deux canaux semi-circulaires latéraux sont dans le même plan, alors que le canal postérieur est dans le même plan que le canal supérieur contralatéral. Ils fonctionnent en couple. Dans le labyrinthe membraneux, l'épithélium sensoriel de la macule utriculaire est dans le plan horizontal, tandis que la macule épithéliale sacculaire est dans un plan sagittal et vertical.

L'épithélium sensoriel des crêtes ampullaires des trois canaux semi-circulaires est englué dans une cupule ; l'inertie des liquides labyrinthiques endo-lymphatiques qu'il contient rend cet organe sensible aux accélérations angulaires. L'épithélium sensoriel des macules otolithiques supporte, lui, une membrane otoconiale dans laquelle est enchâssée une grande quantité de petits cristaux, les otolithes proprement dits (figure 4.2). Ces otolithes (pierres d'oreille), encore appelés otoconies (poussières d'oreille) ou statolithes (pierres d'équilibre), sont des cristaux naturels et normaux de l'oreille interne ; constitués de carbonate de calcium (la calcite), ils sont similaires chez tous les vertébrés. La densité des

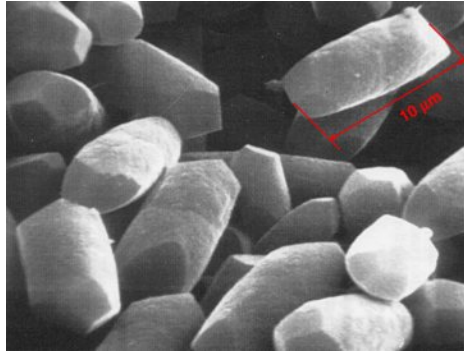


FIGURE 4.2. Otoconies.

Constituants naturels normaux de l'oreille interne, ils servent de masse inertielle pour évaluer les accélérations linéaires, dont la force de la pesanteur, pour rester debout. Ils sont constitués de carbonate de calcium, ont une densité de 2,3 et une dimension qui va de 1 à 10 microns. Cliché de Martine Ohresser, grossissement 5000 fois.

otolithes est de 2,3 ; leur taille varie de 1 à 10 microns ; pour les deux oreilles, chez l'homme, leur nombre est d'environ 250 000 et leur poids global atteint environ 2 mg. Leur déplacement au cours des accélérations naturelles de la vie quotidienne est de l'ordre de quelques microns.

Jusqu'alors invisibles en imagerie traditionnelle, ils apparaissent, par sous-traction, à l'IRM 3T (Tesla) sur les images de l'utricule et du saccule, comme des taches blanches par rapport au liquide noir. Le volume de l'utricule est estimé à 10,6 mm³, le saccule 2,4 mm³ ; on est encore très loin de voir les détails plus subtils des otolithes perdus.

Sous l'épithélium formé de cellules de type I et de type II, un réseau de neurones efférents (venant des centres du tronc cérébral vers la périphérie) et afférents – les corps cellulaires sont situés dans le ganglion de Scarpa – projette sur les noyaux vestibulaires du bulbe. Les projections concernées par les otolithes se font surtout vers la partie inférieure des noyaux vestibulaires qui participent aux faisceaux vestibulo-spinaux (latéral et médium), lesquels modulent l'action des muscles posturaux antigravitaires. Ils n'agissent pas directement sur les motoneurones alpha, mais sur les motoneurones gamma (boucle des fuseaux neuromusculaires), participant de ce fait à une régulation de deuxième niveau, douce.

L'épithélium sensoriel otolithique (figure 4.3) est constitué de cellules sensorielles ciliées dont l'organisation en tuyau d'orgue est très originale. Le bouquet de cils est formé de stéréocils de tailles progressivement croissantes vers un autre cil, le kinocil, qui contient neuf paires de tubules périphériques et une paire de tubules centraux. Lors d'une accélération, l'inertie des otolithes, due à leur masse, résiste au déplacement et incline le bouquet ciliaire de chacun des organes otolithiques des deux oreilles. Il existe une orientation du bouquet ciliaire vers le kinocil pour chacune des directions de l'espace (ou pratiquement) (figure 4.4). Ce bouquet ciliaire de chaque cellule ne peut être stimulé que dans une seule direction : vers le kinocil. En outre, et c'est une originalité, ces cellules vestibulaires sont spontanément actives en l'absence de tout stimulus

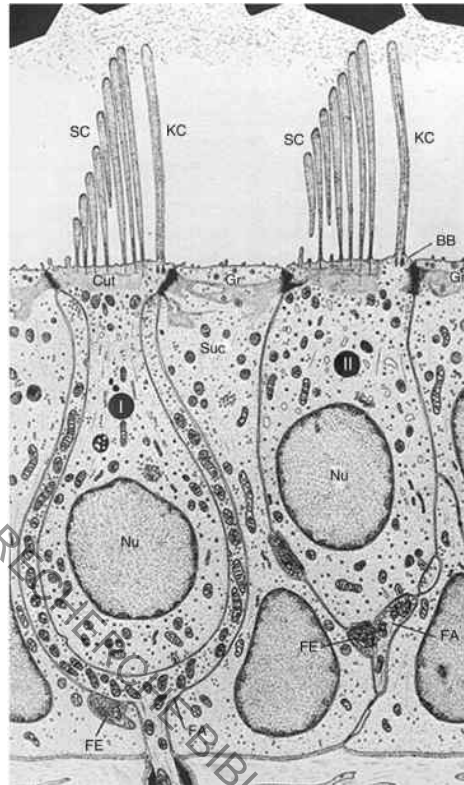


FIGURE 4.3. **Épithélium sensoriel otolithique.**

Les cellules sensorielles ciliées vestibulaires sont de deux types : les cellules de type I, dites caliciformes, qui prennent la forme d'une bouteille de Chianti et dont le corps cellulaire est complètement englobé par un calice de la fibre afférente vestibulaire de type I, et les cellules de type II dites piriformes, qui prennent la forme d'une bouteille de Bordeaux et dont le contact avec les fibres vestibulaires efférentes et afférentes se fait sur la partie basale de la cellule de façon concurrentielle.

sensoriel : elles relâchent à leur base, dans l'espace synaptique, des vésicules de glutamate (GLU). Ce neuromédiateur stimule le premier neurone vestibulaire (dont le corps cellulaire est dans le ganglion de Scarpa) : cette activité de repos (*resting activity*) est d'environ 80 potentiels d'action par seconde. Lorsque l'inertie des otolithes incline le bouquet ciliaire vers le kinocil, la cellule est excitée, les neuromédiateurs sont relâchés en plus grande quantité dans l'espace synaptique ; l'activité neuronale, c'est-à-dire le nombre de potentiels d'action par seconde, augmente : l'information de mouvement est traduite, comme pour tout neurone, en modulation de fréquence. Une accélération linéaire mobilise la ligne de cellules concernées par la direction de ce vecteur sur les quatre organes (utricules gauche et droit, saccules gauche et droit) ; les autres cellules de ces mêmes organes ne sont pas concernées par ce vecteur et leur activité de repos reste inchangée. Il faut savoir que les cils sont si rigides qu'ils casseraient plutôt que de faire un mouvement vers un kinocil différent du leur.

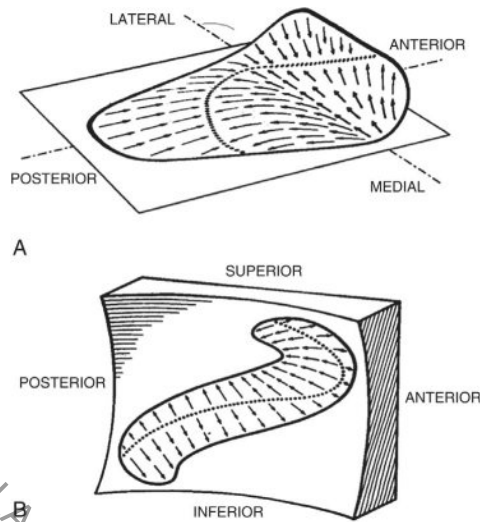


FIGURE 4.4. Orientation générale des macules utriculaires et sacculaires.

L'utricule est plutôt dans le plan horizontal, le saccule plutôt dans le plan vertical et sagittal. La ligne en pointillés montre la striola, région virtuelle où s'inverse l'orientation des cellules sensorielles. Pour l'utricule, le kinocil du bouquet ciliaire est du côté de la striola ; pour le saccule, l'orientation est inverse. Chacune des flèches montre le vecteur d'accélération linéaire qui excite la cellule sensorielle.

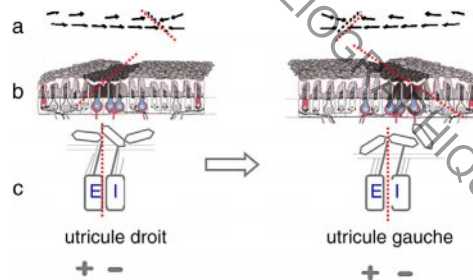


FIGURE 4.5. La fonction otolithique.

Pour un même vecteur d'accélération linéaire, quatre groupes cellulaires au niveau de l'utricule sont stimulés. Une partie est excitée, l'autre est inhibée, modulant ainsi l'activité spontanée de repos du neurone vestibulaire afférent. Ces quatre informations, en se combinant avec les quatre autres informations du système sacculaire, donnent au système nerveux central une représentation du vecteur de déplacement.

Lors des déplacements de la tête, une série de cellules sensorielles est excitée alors que d'autres cellules de l'autre côté de la striola sont inhibées (figure 4.5). Il en est ainsi pour chaque accélération linéaire de notre tête, dont la plus surprenante est la gravité qui nous colle au sol sans que nous en soyons bien conscients. Si, par exemple (figure 4.6), on incline la tête de 28° sur la gauche,

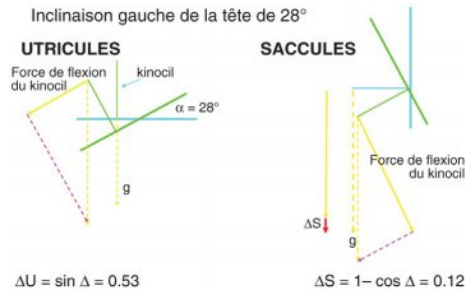


FIGURE 4.6. Inclinaison gauche de la tête de 28°.

Lors d'une inclinaison de la tête, deux utricules et deux saccules mesurent en même temps le même angle : les différents groupes cellulaires sont stimulés. Il existe donc un continuum, tel sinus et cosinus, pour mesurer l'inclinaison.

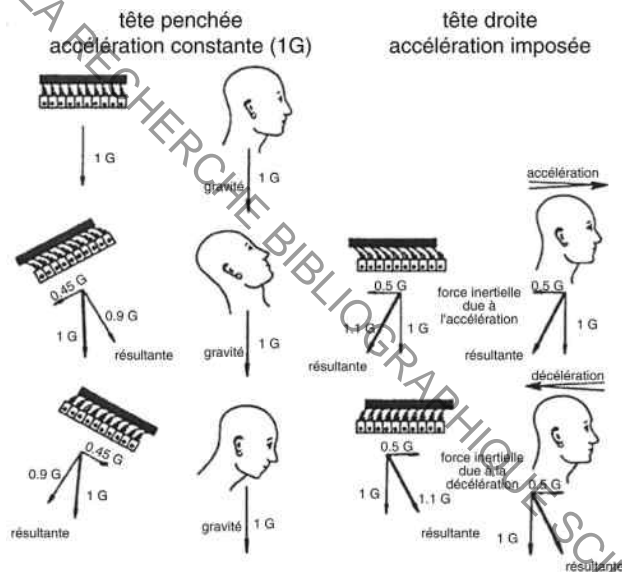


FIGURE 4.7. Ambiguïté sensorielle du message otolithique.

L'inclinaison de la tête en arrière chez un sujet immobile stimule les organes otolithiques, ce qui correspondrait chez un sujet à tête droite à une accélération en avant. Lorsque le sujet penche la tête en avant, l'inclinaison stimule de la même manière qu'un freinage si le patient avait la tête droite : c'est dire toute l'ambiguïté du message otolithique si les autres systèmes sensoriels ne venaient pas le corriger.

une ligne de cellules sensorielles est intéressée par cette accélération alors qu'aucune autre ne sera concernée. Ainsi, puisque chaque inclinaison de la tête dans l'espace stimule des groupes cellulaires différents des organes otolithiques, tester le contrôle postural dans différentes postures et inclinaisons de la tête explore le système otolithique (figure 4.7).

La surabondance d'informations redondantes que manifeste cette organisation paraît surprenante. Elle existe cependant quasi inchangée, avec d'infimes modifications, depuis nos lointains ancêtres reptiliens ; cette constance, optimale depuis bien longtemps, prouve son efficacité.

Parmi les lésions pathologiques du système otolithique, il existe peut-être des pertes otolithiques partielles : ces patients instables seraient incapables d'estimer la force de la pesanteur dans certaines conditions d'inclinaison, d'accélération, d'environnement visuel (d'où tout l'intérêt de leur prise en charge en exploration fonctionnelle, en posturographie puis en rééducation vestibulaire). Les plus manifestes de ces troubles posturaux dus au déficit otolithique sont consécutifs aux neurotomies vestibulaires (section chirurgicale unilatérale du nerf vestibulaire). Leur modèle expérimental chez le chat [1] et le rat a été repris chez l'humain dans le cadre des neurotomies pour maladie de Menière invalidante (seule solution actuelle pour en finir avec les crises itératives). Les signes cliniques statiques du déficit otolithique ainsi créé sont rassemblés sous le terme de réactions d'inclinaison oculaire (T. Brandt) qui associe une inclinaison de la tête vers le côté du déficit, une inclinaison des deux yeux vers le côté du déficit, une cyclotorsion des deux yeux vers le côté du déficit et une inclinaison de l'estimation de la verticale visuelle subjective du même côté que le déficit [2, 3]. Il est cependant rare de constater ces quatre signes chez le même patient dans la pathologie vestibulaire quotidienne. Dans les névrites vestibulaires (atteinte virale aiguë du nerf vestibulaire), ils ne se retrouvent de façon indéniable que chez 5 % des patients. Chez ces patients, la posturographie statique, yeux ouverts et yeux fermés, ne montre pas de dérive manifeste du centre des pressions vers le côté lésé, mais une augmentation de la surface [4].

Les preuves objectives d'une pathologie otolithique sont assez réduites : potentiels évoqués otolithiques sacculo-colliques myogéniques (PEO ou VEMs), potentiels évoqués utriculaires oculaires. Les tests de rotations inclinées par rapport à la gravité (RAIG) et le test de rotation excentrée ne sont pas du domaine courant et ne concernent pas le système postural. Au quotidien, c'est le test de la verticale visuelle subjective (VVS) qui est le plus utilisé (il teste plutôt la fonction utriculaire). En posturographie dynamique, sur plateau instable et lors d'une stimulation visuelle perturbante, soit en vision stabilisée sur l'Equitest® de Naschner, soit par une large stimulation optocinétique sur le Multitest Equilibre Framiral®, le déséquilibre est aggravé, ce qui authentifie la perturbation vestibulo-spinale d'origine otolithique. Cette évaluation posturale sert souvent de guide chiffré pour la rééducation vestibulaire.

Dans un désordre otolithique, la rééducation vestibulaire cherche surtout à obliger le patient à mieux utiliser son système otolithique (aux nombreuses redondances) en minimisant l'impact proprioceptif (plateau instable, mousse, trampoline) et l'impact visuel (yeux fermés ou stimulation optocinétique) : en utilisant mieux et plus son système otolithique, il en fait le moyen principal de réguler sa posture et de rester debout.

4.2. La proprioception musculaire

Jean-Pierre Roll, Régine Roll

Sensibilité mécanique de l'appareil moteur, distribuée dans la totalité des muscles et profondément enfouie en leur sein, la proprioception musculaire commence seulement à livrer les règles de son organisation et de son fonctionnement. Les codes sensoriels qui la régissent sont des **codes de population** à caractère directionnel et intensif organisés à la fois dans l'espace anatomique et dans le temps. La manipulation expérimentale de cette modalité évoque chez l'Homme des illusions kinesthésiques qui peuvent être complexes et relever, selon les cas, de la motricité posturale dirigée ou symbolique. Les informations proprioceptives, nées de l'action même, apparaissent ainsi comme le principal et **premier** opérateur de la **conscience du mouvement** : elles participent à des fonctions qui élargissent clairement au répertoire des activités **cognitives**.

Il est aujourd'hui admis que les sensibilités kinesthésiques, celles de l'appareil moteur lui-même, sont déterminantes à la fois pour l'élaboration de la connaissance de soi, la maturation fonctionnelle des autres sensibilités, leur exercice et leur mise à jour [5]. Tous nos organes des sens sont en effet portés et transportés par un corps déformable et mobile, et ce sont nos actions qui conditionnent l'ensemble de nos fonctions sensibles ; les sensibilités kinesthésiques interviennent pour mettre en relation fonctionnelle le corps et son espace d'action, assurant alors la nécessaire cohésion des espaces corporel et extra-corporel [6, 7]. Ces acquis expérimentaux permettent de soutenir que les sensibilités proprioceptives ont un rôle **fondateur** de toute connaissance et notamment de la représentation du corps propre au travers des actions qu'il accomplit. Dès lors, parce que les sensibilités proprioceptives sont celles nées des actions du corps, nous proposons qu'elles aient un statut particulier parmi l'ensemble de nos sensibilités et qu'elles soient considérées comme **un sens premier** [8].

Les postures et les mouvements du corps, qui traduisent notre présence et notre relation au monde, constituent l'une des sources d'information les plus puissantes sur le corps lui-même. Les actions, lorsqu'elles se déroulent, génèrent un concert d'informations sensorielles issues de modalités aussi diverses que le tact, la vision ou la proprioception. Dans ce paysage multi-sensoriel, les informations qui proviennent des muscles eux-mêmes nous paraissent être les indicateurs les plus fidèles de l'état et des changements d'état de notre corps, et donc les plus directement utilisables par le système nerveux central pour élaborer sa connaissance et sa représentation au travers des actions qu'il accomplit [9].

Les muscles constituent en effet la majeure partie de nos chairs et les masses musculaires sont les tissus de l'action. Leurs propriétés contractiles permettent tout à la fois de configurer, de déformer ou de déplacer le corps. Il s'agit donc bien là du tissu qui donne vie au corps, qui l'anime. Les contractions de nos

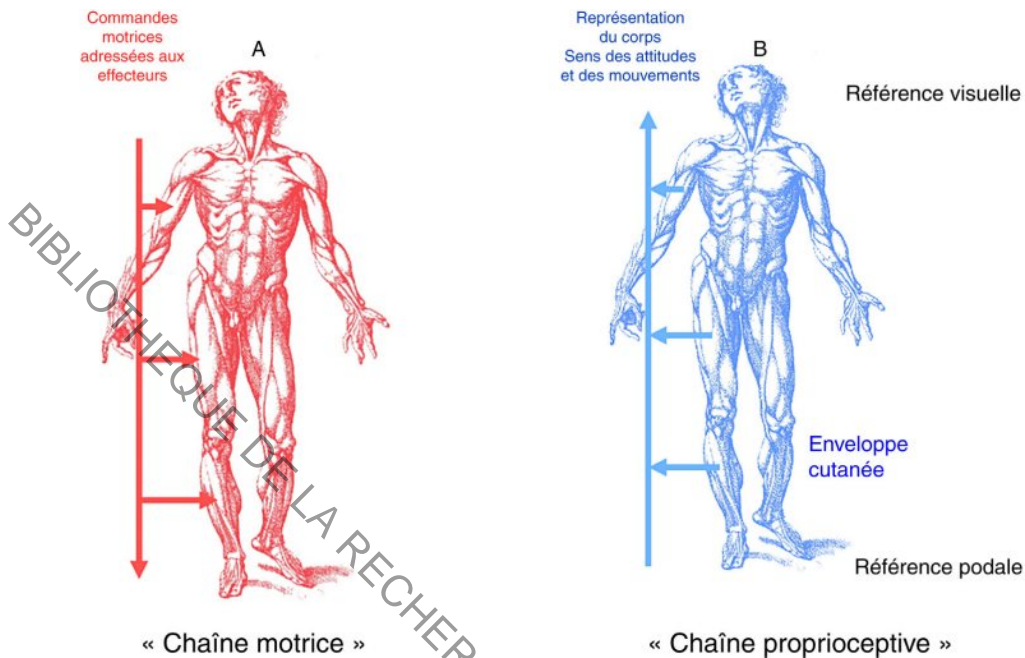


FIGURE 4.8. Représentation schématique de l'organisation des commandes motrices (chaîne musculaire) et des afférences proprioceptives musculaires et cutanées (chaîne proprioceptive).

Chaque muscle assure à la fois des fonctions motrices et des fonctions sensibles. Le « contact » corps/environnement est assuré par deux « organes sensoriels » remarquables situés aux deux extrémités du corps : le capteur tactile podal (référence podale) et le capteur visuel (référence visuelle).

muscles nous livrent donc les signes de notre appartenance au monde animé, ceux qui nous permettent de savoir que notre corps est vivant parce qu'il adopte une posture, qu'il bouge ou se déplace.

Mais au-delà de leurs fonctions motrices, les muscles sont aussi une chair sensible, un vaste organe des sens distribué dans la totalité du corps [5]. Ils doivent dès lors être considérés à la fois comme des **organes moteurs** et comme des **organes des sens**, comme les acteurs mais aussi comme les spectateurs des actions du corps (figure 4.8).

Les mécanorécepteurs dont ils sont dotés détectent en permanence, puis transmettent au cerveau des informations sur l'état des effecteurs qui les contiennent et leurs changements d'état au cours de l'action. Ces capteurs, appelés **fuseaux neuromusculaires**, rendent compte, par les messages qu'ils délivrent, de la posture du corps lorsqu'il est immobile et de ses déformations au cours du mouvement : la connaissance de ses propres actions, dont le sujet bénéficie ainsi en permanence, ses kinesthèses, pourrait alors résulter de la collecte et de l'intégration centrale des messages proprioceptifs d'origine musculaire émis par l'ensemble de la musculature.

La proprioception musculaire : un système sensoriel mécanosensible profond, distribué et orienté

Tous nos muscles sont constitués de deux compartiments : un compartiment **contractile** qui assure la cohésion posturale du corps et ses mouvements, et un compartiment **sensible** constitué de mécanorécepteurs. Compartiment moteur et compartiment sensoriel sont, en fait, inclus l'un dans l'autre, ce qui confère à chacun de nos muscles la possibilité d'assurer des **fonctions motrices** et des **fonctions sensibles**.

La structure des fuseaux neuromusculaires est complexe et il suffit d'en retenir qu'ils peuvent être considérés comme des « micromuscles », distribués dans le corps des muscles et dotés, dans leur partie équatoriale, de terminaisons nerveuses mécanosensibles de forme annulospiralée (terminaisons primaires) ou en « bouquet » (terminaisons secondaires).

Les deux types de terminaisons sont à la fois sensibles à l'état de longueur des muscles et surtout, pour les terminaisons primaires, à leur vitesse d'allongement.

L'étude de leurs propriétés de codage a été permise chez l'Homme par le développement de la méthode microneurographique qui consiste à enregistrer dans un nerf périphérique superficiel, par microélectrodes intraneurales, les messages sensitifs qui en sont issus. Cette méthode apporte donc une description directe du trafic neurosensoriel issu des capteurs des muscles en action. Elle a permis de recueillir l'activité de populations de récepteurs issus de l'ensemble des muscles qui équipent une articulation lors de la réalisation de mouvements orientés dans l'espace ou de mouvements symboliques comme ceux du dessin ou de l'écriture [10-12].

La [figure 4.9](#) décrit, pour un fuseau neuromusculaire contenu dans un muscle fléchisseur de la main, les messages sensoriels signant l'exécution de lettres et de chiffres. L'analyse des données montre que le comportement de l'ensemble des récepteurs distribués dans un muscle donné est très homogène mais qu'il code seulement une partie d'une action donnée. L'ensemble des muscles étirés, au cours d'une action particulière, génère **une signature sensorielle** proprioceptive qui, comme toute signature, est unique pour un acte donné et parfaitement reproductible lorsque la même action est répétée. Ces véritables « **codes-barres** » **neurosensoriels**, marquant chacune de nos productions motrices, sont acheminés vers le système nerveux central. Leur traitement cortical est à la base de nos sensations de mouvements.

L'analyse de ces messages sensoriels fait aujourd'hui émerger l'organisation des codes sensoriels qui régissent la modalité proprioceptive musculaire.

Nous en retiendrons que chaque propriocepteur répond préférentiellement lors d'un mouvement effectué dans une direction donnée : **c'est sa direction sensorielle préférée**. Il répond aussi, mais moins fortement, pour un ensemble de directions formant un angle précis autour de la direction sensorielle préférée : c'est le « **secteur sensoriel préféré** ». Chaque muscle attaché à une articulation possède ainsi un secteur de codage qui lui est propre et l'ensemble de ces secteurs couvre alors toutes les directions de l'espace d'action de celle-ci [12, 13].

POUR CHAQUE SYMBOLE ECRIT: Une « signature Proprioceptive »

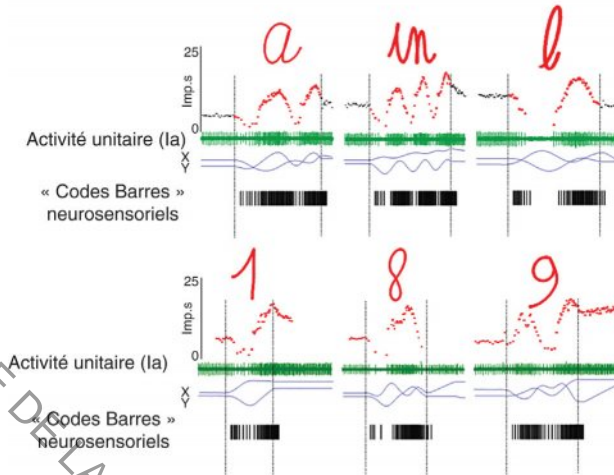


FIGURE 4.9. Signatures sensorielles de mouvements d'écriture de lettres, de mots courts et de chiffres.

De bas en haut, pour chaque graphique :

- représentation du message sensoriel sous la forme d'un « code-barre » ;
- mouvement en fonction du temps (X et Y) ;
- activité unitaire (fibre 1a) en provenance d'un fuseau neuromusculaire d'un muscle extenseur du pied ;
- courbe de fréquence instantanée ;
- trajectoire graphique exécutée.

On notera que chaque acte moteur donne naissance à un feedback proprioceptif qui lui est propre : sa « signature sensorielle ».

Ainsi, à l'instar de l'action de chaque muscle qui permet de réaliser un mouvement dans une direction donnée, la **proprioception** est elle-même sollicitée de manière **orientée**, mais en **miroir** par rapport à l'action. C'est donc l'allongement des muscles au cours des actions qui est responsable de l'émission des signaux proprioceptifs : ils en décrivent le décours et les paramètres, comme la direction ou la vitesse [12].

Le codage d'un mouvement sera assuré par la mise en activité successive des récepteurs contenus dans les divers muscles attachés à une ou plusieurs articulations. En utilisant un modèle vectoriel de traitement de l'information, inspiré des travaux du groupe Georgopoulos et al. (1984), nous avons pu démontrer qu'à chaque instant la somme vectorielle de tous les flux proprioceptifs émis par tous les muscles d'une articulation représente la **vitesse tangentielle instantanée** d'une trajectoire motrice. Dans ce codage, chaque unité musculaire apporte une contribution sensorielle orientée et pondérée à chaque instant d'un mouvement [10, 12-14].

Les kinesthèses : une origine proprioceptive musculaire

Un artifice permet d'activer, de manière sélective et en l'absence de mouvement, les mécano-capteurs musculaires jusqu'à des fréquences pouvant aller jusqu'à 100 cycles par seconde [15, 16]. Il s'agit de **vibrations mécaniques** de faible amplitude appliquées au niveau des tendons musculaires. Ce **leurre sensoriel**, lorsqu'on en fait varier la fréquence, est capable de générer des messages proprioceptifs si proches de ceux évoqués au cours d'un mouvement naturel qu'ils induisent, chez un sujet parfaitement immobile, une **sensation de mouvement illusoire** [15, 17].

En multipliant le nombre des muscles vibrés et en calquant les variations de fréquence de chaque vibreur sur celles préalablement enregistrées au niveau des fibres sensibles au cours d'un mouvement réel, on est en mesure d'évoquer chez un sujet immobile des sensations de mouvements du corps entier ou de ses segments (figure 4.10). Par exemple, en vibrant les tendons des quatre groupes musculaires du poignet d'un sujet dont la main ne bouge pas, on peut évoquer chez lui la sensation illusoire qu'il dessine un carré ou un triangle, des lettres, des mots courts ou des chiffres. Les patterns complexes de vibration à appliquer sur chaque muscle ont été élaborés en utilisant un modèle bio-inspiré qui a permis de construire ceux correspondant à la trajectoire de chaque symbole graphique (figure 4.11) [9, 13, 18]. Après l'application d'un pattern de vibration, le sujet devait identifier verbalement le symbole perçu puis dessiner celui-ci. 80 à 90 % des illusions d'écriture de lettres ou chiffres ont été, en moyenne, identifiées par les sujets ; la figure 4.11 représente les chiffres ou les lettres moyennes ressentis et dessinés par l'ensemble des sujets. De tels résultats montrent que les messages sensoriels proprioceptifs issus des muscles de la main qui écrit sont porteurs d'**informations** de nature **cognitive** susceptibles d'intervenir dans la spécification symbolique des caractères écrits et, par là, dans les apprentissages linguistiques. Ils soulignent enfin le fait que l'acte d'écrire est bien plus qu'un acte purement moteur et que les kinesthèses qui lui sont associées sont porteuses du **sens des signes** écrits ou dessinés par la main. Dès lors, on peut exprimer l'idée que la main qui écrit sur le papier écrit aussi sur le cerveau et participe à des **fonctions mentales de niveau élevé**.

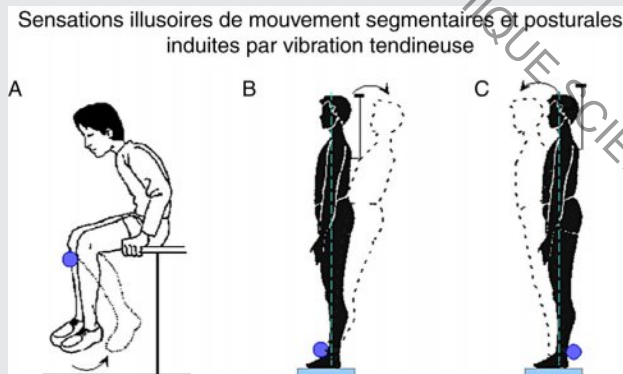


FIGURE 4.10. Illusions kinesthésiques évoquées chez l'Homme par vibration tendineuse.

Illusions de mouvements de flexion de la jambe (A) et d'inclinaisons orientées du corps entier (B et C) par vibration des muscles quadriceps, jambiers antérieurs ou triceps suraux.

L'objectivation des sensations de mouvements illusoires est effectuée par une copie active réalisée par le sujet à l'aide d'un joystick.



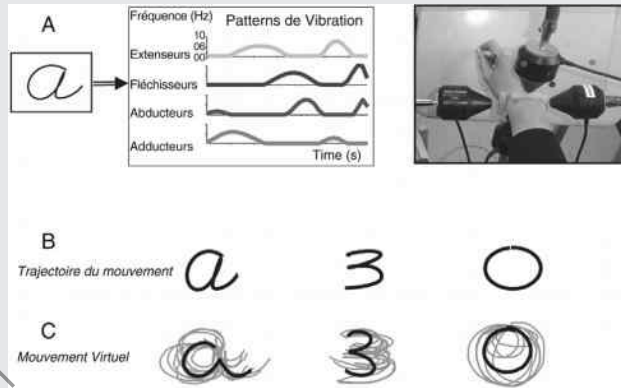


FIGURE 4.11. **Mouvements illusoires d'écriture évoqués par la vibration des quatre groupes musculaires du poignet.**

A. Dispositif expérimental et pattern de vibration. B. Trajectoire de mouvement utilisée pour calculer le pattern de vibration. C. Trait fin : illusions d'écriture ressenties et reproduites par chaque sujet. Trait épais : trajectoire illusoire moyenne.

Proprioception et posture

Au plan postural, la proprioception musculaire assure à la fois des fonctions cognitives d'orientation spatiale du corps et des fonctions sensorimotrices de régulation de l'équilibre et d'orientation comportementale. En effet, chez un sujet immobilisé en position érigée, la manipulation par vibration des muscles de la « chaîne proprioceptive » qui relie l'œil au support podal évoque des sensations d'inclinaisons orientées de l'ensemble du corps [19]. Chez un sujet debout, mais libre de ses mouvements corporels, les mêmes stimulations induisent des réponses motrices posturales elles-mêmes orientées en fonction des muscles vibrés : on notera toutefois que la stimulation de la musculature de la partie haute du corps (muscles moteurs oculaires, muscles du rachis cervical ou muscles para-vertébraux) induit des effets moteurs d'orientation comportementale du corps, alors que la stimulation des muscles des jambes donne naissance à des **régulations posturales** qui corrigent tout écart à la verticale [20]. De plus, la stimulation, à l'aide de matrices tactiles (des récepteurs cutanés plantaires), évoque des réponses posturales du corps entier ou des sensations illusoires de déplacement du corps, ce qui confirme l'importante contribution du capteur podal à la perception de la verticalité du corps et à la régulation posturale [21, 22].

Cortex cérébral et conscience du mouvement

La perception d'un mouvement est liée à son exécution. Dès lors, il devient difficile de discerner ce qui, dans la kinesthèse, revient à la commande motrice elle-même [16] de ce qui revient aux réafférences sensorielles [16] nécessairement évoquées lors de l'exécution de l'action. Parvenir à faire percevoir à un sujet qu'il bouge sans qu'il bouge réellement constitue alors une situation expérimentale privilégiée qui permet d'analyser chez l'Homme les activités cérébrales associées à l'émergence de la kinesthèse *per se*.

Nous avons pour cela utilisé l'imagerie fonctionnelle cérébrale par résonance magnétique nucléaire (IRMf 3T) et activé par vibration les groupes musculaires fléchisseur et extenseur de la main. Lorsque les sujets ressentent une sensation kinesthésique, quatre régions corticales sont significativement activées : les cortex prémoteur et moteur, le cortex pariétal, les aires motrices supplémentaires et cingulaires [23-26].

Il se confirme donc que l'émergence de sensations de mouvement nécessite l'activité conjointe du **cortex somesthésique** pariétal postérieur, mais aussi des **structures motrices**, ce qui souligne la puissance des liens fonctionnels existant entre perception kinesthésique et action [27].

Proprioception, rééducation et plasticité cérébrale

Dès lors que la vibration tendineuse génère un feedback proprioceptif proche de celui évoqué par le mouvement, qu'elle évoque des sensations de mouvement et ses activités motrices associées, elle constitue un **véritable générateur de mouvement** avec ses composantes sensorielle, perceptive et motrice. Cette propriété est utilisée dans le domaine de la rééducation, notamment pour recouvrer une plage d'amplitude articulaire complète à la suite d'une immobilisation thérapeutique. Dans un travail récent [28], nous avons pu démontrer que seulement 5 jours d'immobilisation de la main entraînent à la fois une dégradation anatomique et fonctionnelle des structures corticales sensorimotrices et une réduction de l'amplitude articulaire à la levée de l'orthèse d'immobilisation. À l'inverse, chez les sujets immobilisés et recevant deux fois 20 minutes par jour des stimulations vibratoires induisant une illusion de mouvement de la main, les réseaux corticaux sensorimoteurs ont été préservés à la fois dans leur extension et dans leur intensité d'activation. De plus, chez les sujets traités, la mobilité articulaire n'était pas dégradée à la levée de l'orthèse. De tels résultats suggèrent que les feedbacks proprioceptifs peuvent modeler les structures corticales et guider la plasticité cérébrale au bénéfice de la réadaptation fonctionnelle des patients (figure 4.12).

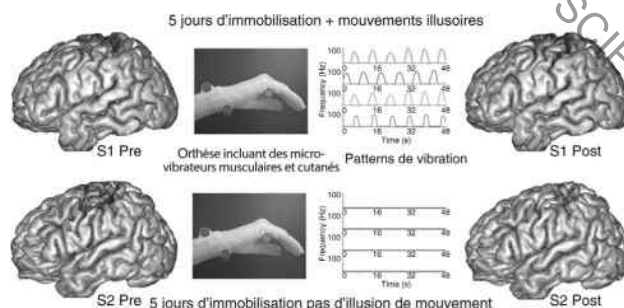


FIGURE 4.12. Effets cérébraux de l'immobilisation articulaire.

Enregistrement par IRMf des activations corticales évoquées par l'exécution d'un mouvement calibré de la main chez des sujets traités (ligne du haut) et non traités (ligne du bas) avant la mise en place de l'orthèse d'immobilisation (pre) et à son retrait (post). Les figures situées au centre montrent la main immobilisée par une orthèse thermoformée incluant des mini-vibrateurs tendineux et une matrice tactile avec ou sans stimulation pendant la période d'immobilisation.

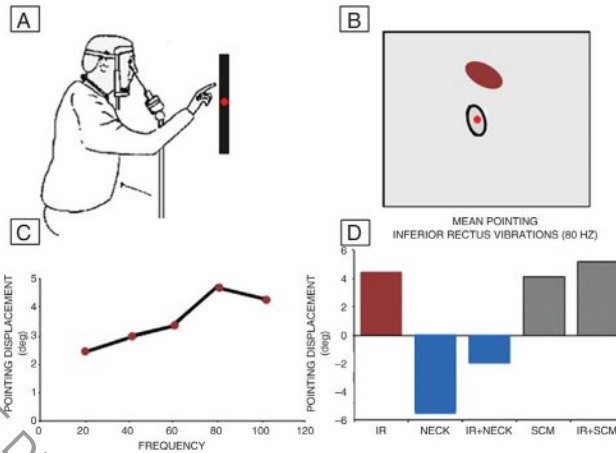


FIGURE 4.13. Interactions entre vision et proprioception dans une tâche de pointage manuel de cible visuelle.

A. Dispositif expérimental de pointage manuel d'une cible. B. Erreurs de pointage induites par vibration du muscle inférieur de l'œil droit (80 Hz). Ellipse de confiance des pointages contrôle (blanc) et sous vibration (hachuré). C. Déplacement moyen des pointages en fonction de la fréquence de vibration. D. Déplacement moyen des pointages dans cinq conditions de vibration des muscles extra-oculaires et de la nuque. (IR : Droit inférieur ; SCM : Sténo-cléidomastoïdiens ; Neck : Muscles Splenii).

La proprioception reliant fonctionnellement l'espace corporel à l'espace extra-corporel

Des expériences récentes suggèrent qu'au-delà de sa contribution majeure à la connaissance de soi, la sensibilité des muscles participe à la connaissance de l'environnement. En effet, le système nerveux central traite conjointement les informations visuelles et les informations musculaires issues de l'ensemble des muscles qui portent et transportent l'œil.

La sensibilité musculaire influence alors l'interprétation par le cerveau de ce que nous voyons : nous avons présenté une cible ponctuelle immobile sur un écran en face des yeux d'un sujet immobile. La vibration des muscles inférieurs des yeux, des muscles sterno-cléido-mastoïdiens ou des muscles jambiers antérieurs donne au sujet l'illusion d'un déplacement de la cible vers le haut. Si, dans ces conditions, on demande au sujet de pointer la cible du doigt, il commet une erreur de localisation, dont la direction et l'amplitude varient avec les muscles vibrés et la fréquence de la vibration (figure 4.13). Enfin, quand les muscles oculaires externes des deux yeux sont vibrés simultanément, le sujet a l'impression que la cible se rapproche de lui : les messages évoqués simulent en effet ceux qui sont normalement associés à la convergence des yeux lorsque nous suivons du regard un objet qui se rapproche de nous [9, 29] (voir chapitres 4.3 et 10.1).

L'interprétation de tels résultats repose sur le fait que la rétine est portée par un ensemble de segments corporels mobiles et emboîtés que sont successivement l'œil, la tête, le tronc et les jambes : les signaux proprioceptifs,

issus de toute la chaîne des muscles mobilisant ces segments, « indiquent » à tout instant au cerveau quelle est l'attitude ou quels sont les mouvements du corps, et lui permettent de calculer la position absolue de la rétine dans l'espace. De ce point de vue, la proprioception musculaire assure aussi des **fonctions extéroceptives** et contribue à relier fonctionnellement le corps à son espace d'action.

Conclusion

Nous retiendrons qu'aujourd'hui se fait jour une véritable physiologie de la kinesthèse qui permet d'enraciner le sens du mouvement dans les propriétés biologiques du vivant. Le corps lui-même, parce qu'il est doté de ses propres sensibilités, est à même de se « décrire » en permanence au cerveau afin qu'émerge la conscience des actions dans lesquelles il est engagé.

4.3. L'entrée visuelle du système postural d'aplomb

Françoise Zamfirescu

« Notre capacité d'anticipation, notre appréhension anticipative de chaque instant qui va remplacer le présent, engage tout à la fois notre cognitif et notre émotif le plus profond. » [30]

Pierre Buser

Selon Bernard Weber : « Pour maintenir le corps en équilibre, en position debout orthostatique, le système nerveux central doit réaliser les transformations appropriées et coordonnées des informations visuelles, vestibulaires et somesthésiques, et générer en permanence les réponses musculaires adaptées. »

La vision binoculaire participe pleinement au contrôle de la stabilité posturale en position debout, orthostatique non perturbée. Ce contrôle postural se définit comme le maintien d'une configuration posturale donnée sur la base de systèmes sensoriels selon Jacques Paillard [31]. Si le confort est le succès de l'utilisation harmonieuse d'une fonction qui sait se faire oublier quand on exécute la performance, la vision binoculaire et son sens stéréoscopique constituent la qualité perceptive propre aux prédateurs, avec leurs yeux frontaux.

Le poids des afférences visuelles se module avec la variation du paramètre distance de fixation. Il diminue si la distance de fixation augmente et s'exprime par l'augmentation de l'instabilité mesurée sur plate-forme, alors qu'il augmente si l'on propose des distances de fixation de plus en plus faibles, produisant

une plus grande stabilité (voir chapitre 10.1). Ceci est également lié à la taille angulaire des images du monde environnant qui glissent sur la rétine en croissant quand on se rapproche du point de fixation, et en décroissant quand on s'en éloigne. L'oscillation du flux visuel indique le déplacement du monde par rapport à soi.

Selon la définition de Philippe Lanthony [32], « la vision binoculaire pourrait être qualifiée de perception "cyclopique", représentant la fusion des images de chaque œil, de deux points de vue, en une seule image » qui restitue en 130 ms la distance du point fixé dans notre environnement, le relief, à partir de la coordination motrice de nos deux yeux.

Un simple défaut de réfraction, tel que la myopie, l'hypermétropie ou l'astigmatisme, une correction optique mal adaptée, un décentrage des verres, une monture de travers, peut être à l'origine de différents symptômes, de signes fonctionnels.

Nous présenterons l'entrée visuelle, pédagogiquement, comme un capteur sensorimoteur à la fois « exo-capteur » pour le sensoriel et « endo-capteur » pour le moteur, en interaction constante, constituant le système visuel. Ce cinquième sens contribue, avec la reconstruction permanente de nos entrées visuelles, de nos représentations mentales, avec les autres modalités sensorielles, au sixième sens que constitue la navigation selon Alain Berthoz [33].

Présentation de l'entrée visuelle du système postural en 5 concepts

Le flux optique et le flux visuel

Par définition, le flux optique correspond aux signaux que l'on reçoit lorsque l'on fixe un point précis de l'espace. Si l'on est en mouvement ou si l'on est transporté, le panorama bouge, ce qui met en jeu le flux visuel. Si l'on s'approche, les images du monde environnant glissent sur la rétine en grossissant. Si l'on bouge vers la droite, en fixant un point précis de l'espace, tout l'au-delà va dans le même sens que notre corps, à droite ; tout ce qui se situe entre le point de fixation et nous glisse dans le sens inverse de notre corps, à gauche ; l'oscillation du flux varie en fonction de la distance de fixation. Le flux visuel est associé aux signaux oculomoteurs en rapport avec le degré de convergence des globes oculaires.

Pour éviter tout conflit d'informations, toute illusion, toute incertitude, il faut savoir ce qui est en mouvement :

- soit on se déplace dans l'espace, les yeux fixant à l'infini, et on analyse le flux optique ;
- soit l'objet bouge dans l'espace fixe : on poursuit alors le papillon, la balançoire, le pendule comme un « grasping visuel ». La poursuite est un mouvement lent qui permet à l'image centrée sur les deux fovéas, d'être nette et précise ;
- soit on est transporté dans le panorama en mouvement et on se réfère alors à d'autres modalités sensorielles.

« L'œil » peut aussi déterminer ce qui est par rapport à soi, ou **égocentré** : « La porte est devant moi », et/ou comment est agencé l'environnement, ou **exocentré** : « La porte est au milieu du mur ». Ces deux systèmes permettent d'avoir une représentation nette, une perception non consciente d'un monde fiable et stable, qui ne doit pas préoccuper le sujet pour agir et se mouvoir en confiance.

La vision périphérique répondant à la question

« où, *where* »

Dans cet espace global, s'effectue la détection de tout mouvement qui déclenche la vigilance et l'attention, en indiquant la direction : le « aller regarder vers ». Cette zone rétinienne ne discrimine que des fréquences spatiales faibles, sur de grands champs récepteurs. En clinique, on détermine le champ visuel de chaque œil comme tout l'espace appréhendé par un œil fixant droit devant lui. La zone de superposition des 2 champs monoculaires correspond au champ visuel binoculaire et à l'exploration maximum du regard.

La vision binoculaire correspondant au « sens »

stéréoscopique : « *how far* »

La perception cycloplique sur une convergence donnée correspond à la question « à quelle distance ». Le sens stéréoscopique, soit la disparité des deux images perçues et leur fusion, fournit instantanément la distance, le relief, lié au degré de convergence selon le schéma classique d'horoptère ou « profondeur de champ ». Les informations liées à la perspective géométrique et les indices monoculaires d'appréciation du relief viennent conforter les indices binoculaires de ce sens instantané du relief [34].

La vision centrale apportant le « quoi, *what* »

et le « comment, *how* » de notre panorama

La vision centrale correspond cliniquement à l'acuité visuelle, à la perception maximale des contrastes et des couleurs. C'est la perception des détails dans des fréquences spatiales élevées et sur des petits champs récepteurs. La forme résultante perçue est ce qui fait l'unité d'une multiplicité, la synthèse d'une diversité de traits et d'indices intégrés dans une combinaison stable.

Notons l'importance de la portion médiane verticale centrale du champ visuel, largement étudiée par Chantal Milleret [35]. Cette région, hautement stratégique d'un point de vue perceptif, participe à la fusion des deux hémichamps visuels incluant la vision fovéale. Elle est source de la perception stéréoscopique, constituant en outre une référence de verticalité à la fois perceptive et posturale. Les stimulations sensorielles de cette zone sont transmises de façon rétinotopiques jusqu'aux cortex visuels primaires et associatifs, complétées par

les transmissions inter-hémisphériques *via* le corps calleux. La surreprésentation corticale de cette zone centrale du champ visuel binoculaire au niveau V1 démontre l'importance de ce traitement spécifique binoculaire, complémentaire des autres canaux de transmission et de traitement des informations périphériques. Notons que les informations rétinienne, qui empruntent la voie croisée rétino-ginécule-corticale pour cette bande centrale du champ visuel de 4° incluant les deux zones maculaires, soit la zone du méridien vertical central, ont une double projection directe et croisée au niveau cortical, selon le Dr Emmanuel Bui Quoc [36]. Cette composante anatomique explique la difficulté de déterminer cliniquement l'œil dominant, le directeur et le postural, si ce n'est dans une tâche d'alignement ou au cours des mouvements oculomoteurs où un œil dirige tandis que l'autre s'ajuste.

La vision dynamique

Elle représente l'asservissement du sensoriel et du moteur avec ses 2 sous-systèmes :

- « l'œil rétinien », « le capteur visuel », « un exo-capteur » qui analyse le panorama, fournit les informations statiques et dynamiques avec la vision centrale qui donne les caractéristiques précises de l'objet fixé et la vision périphérique qui détecte, détermine la localisation de l'objet par rapport aux yeux de l'observateur, ainsi que les objets en mouvement. Tous les récepteurs rétiens ne peuvent voir la totalité de l'objet fixé, ce qui explique à la fois la nécessité de mouvements incessants des yeux pour explorer et rafraîchir en permanence les sensations visuelles, mais aussi la création permanente d'une représentation mentale qui se constitue comme un puzzle ;
- « l'œil oculomoteur », « l'œil proprioceptif », « un endo-capteur », qui permet l'analyse des mouvements absolus ou relatifs, le contrôle des positions du regard et, par les différents mouvements oculaires, l'exploration du panorama. Il localise l'observateur dans le panorama, en tant que « moi/objet dans le panorama », en donnant la position des yeux dans la tête et la direction du regard par rapport au corps et au panorama, selon Jacques Paillard [31].

L'approche clinique de ces paramètres sera développée dans le chapitre sur le Coordimètre (voir chapitre 12.2).

L'interaction de ces deux sous-systèmes fait que :

- la vision binoculaire impose au système oculomoteur la contrainte fondamentale de maintenir les deux maculas sur l'objet fixé ;
- la correspondance sensorielle est asservie et servie par la correspondance motrice, le système sensoriel visuel et le système oculomoteur devant parfaitement fonctionner de façon individuelle et synchrone selon Chantal Milleret [35].

Ces 2 systèmes visuels de stabilisations régissent :

- l'exploration du panorama par mouvements des yeux, par changement de direction du regard – « j'explore le panorama à toute distance » –, grâce à un ensemble de réflexes ;

- le couplage et la synergie, vergence, saccade, accommodation, grâce aux effecteurs musculaires (par exemple, loin/près, lecture d'un texte) ;
- les vergences pour la profondeur et la distance ;
- les versions en saccades pour le changement de point fixé dans le panorama. Cette interaction saccade-vergence illustre la coordination binoculaire normale traitée par Zoï Kapoula et Éric Matheron (voir chapitre 10.1) : l'œil dominant dirige et l'œil adelphe s'ajuste au cours des fixations ;
- l'accommodation, soit la mise au point qui permet la focalisation de l'image sur la rétine.

Replaçons ces interactions dans le cadre plus général des réflexes visant à stabiliser la tête et le regard, rappelés par Cynthia Lions [37] et Didier Orsal [38] :

- « le réflexe vestibulo-spinal stabilise le corps en agissant sur les muscles du tronc et des membres inférieurs lors des mouvements de la tête ;
- le réflexe vestibulo-cervical stabilise la tête en agissant sur les muscles de la nuque en réponse à la stimulation des canaux semi-circulaire ;
- le réflexe vestibulo-oculaire stabilise le regard en provoquant des mouvements oculaires lors des mouvements de la tête ;
- le réflexe optocinétique stabilise les images sur la rétine en activant les muscles de la nuque et des muscles oculomoteurs » [37].

Déclinaisons : entrée visuelle et posturologie

Les finalités de l'entrée visuelle : l'orientation et la stabilisation du corps

Lorsque les yeux, la tête ou le corps sont en mouvement, le système assure une perception visuelle efficace et la certitude d'un monde environnant stable. Cela permet une action adaptée reliant expérience passée, instant présent, anticipation et projection dans le futur, dans toutes les déclinaisons du temps, si bien explicitées par la neurophysiologie et la philosophie par Pierre Buser et Claude Debru [39].

Quand on décline Vision = Perception

Il faut appréhender d'autres cadres conceptuels fondamentaux.

Le cerveau reçoit simultanément, à des vitesses différentes, des entrées de plusieurs modalités sensorielles et doit les combiner entre elles. H.L.F. Von Helmholtz au XIX^e siècle présentait déjà la vision comme résultante, selon Jacques Bouveresse [40], d'inférences inconscientes, « les entrées visuelles se combinent à nos attentes pour former le contenu de l'expérience consciente ».

Suivons le chemin d'analyse proposé par Stanislas Dehaene [41] associant le « bottom-up » au « top-down » pour que « chacune des entrées sensorielles que nous recevons du monde extérieur ne reste pas ambiguë. Notre système

nerveux a pour lourde tâche de sélectionner un possible, un optimum probable, parmi la multitude de possibles et permettre au sujet de faire les choix les plus plausibles, les actions les plus adaptées ».

Les fonctions cognitives attribuent le rôle à notre système nerveux central de nous laisser percevoir les choses telles qu'elles devraient être dans le monde extérieur, par la reconstruction d'une perception la plus plausible, étant donné le bruit qu'il reçoit de ses différentes entrées sensorielles externes et internes.

Rappelons le phénomène de complétion qui illustre la capacité à compléter une image imparfaitement déchiffrée ou, lors d'une tâche de lecture, la capacité à « inventer » des mots, à remplacer des groupes de lettres désordonnées rendant le sens conscient compréhensible.

Que se passe-t-il lorsque nous recevons plusieurs indices venant de modalités sensorielles différentes ? Stanislas Dehaene propose la combinaison, avec un *a priori* interne et une orientation attentionnelle, de tous les indices de façon appropriée, suivie d'une interprétation de ces indices et des paramètres de façon hiérarchique en remontant jusqu'aux niveaux les plus élevés, et donc la conscience. Cette catégorisation visuelle ultrarapide, correspondant à un niveau de perception implicite et inconscient, précédant la perception explicite et consciente, réactualise la dynamique temporelle des opérations perceptives. On remonte ainsi aux causes et l'information circule pour reconstruire le percept le plus probable et le plus plausible. C'est donc le rôle des nombreuses aires visuelles de procéder à ces inférences spécialisées et de les combiner avec d'autres modalités sensorielles.

Parmi les fonctions mnémoniques

Rappelons qu'en mémoire iconique (visuelle), échoïque (auditive), haptique (tactile), seules 20 millisecondes séparent deux stimulations successives du même ordre, pour ces trois systèmes sensoriels. La latence, elle, varie entre 250 et 400 millisecondes et correspondrait à la perception consciente du stimulus visuel et à la production d'une réponse motrice adaptée qui confirme le contrôle des centres nerveux et le retour vers les structures inférieures et la périphérie [42].

Les fonctions de représentation

Elles partent de modèles intériorisés que le sujet construit à partir de son environnement et de ses actions sur cet environnement [34], modèles utilisés à la fois comme sources d'information, instruments de régulation et planification de stratégies pour l'action.

Dans les préparations à l'action, avec les coordinations inter-sensorielles, on observe l'élaboration de plusieurs représentations aboutissant à diverses stratégies, selon les classifications : interne/externe, ego/exo, généralisation/discrimination qui constituent des axes de recherches actuels.

L'appropriation de l'espace : comment définir notre espace d'action en ophtalmologie ?

L'espace a 3 axes (axes de Fick), 3 plans (frontal, sagittal et horizontal) et une 4^e dimension (le temps).

Notre espace est euclidien : l'axe vertical Z génère les mouvements horizontaux, l'axe horizontal X concerne les mouvements verticaux, l'axe antéro-postérieur Y génère les torsions, selon J. Paillard [31].

La découverte et l'appropriation de l'espace d'action peuvent se comprendre comme un emboîtement d'espaces, semblable aux poupées russes :

- le loin, l'**intouchable** (VL : vision de loin) au-delà d'1,20 m ;
- l'espace **intermédiaire** (VI : vision intermédiaire) de 1,20 m à 60 cm ;
- la proximité, le **touchable** (VP : vision de près) de 60 cm à 5 cm, l'espace de préhension.

Adaptation aux verres progressifs : le meilleur compromis pour la presbytie

Notre forte capacité d'adaptation nous permet de produire des aniso-phories directionnelles des yeux, d'intégrer les anamorphoses des verres progressifs, de modifier la stratégie exploratoire du panorama visuel en fonction de la distance, de la profondeur de champ, de la correction optique, de l'empan (zone) de vision nette, et enfin de devenir céphalogyre *versus* oölogyre.

Poids de l'entrée visuelle : sa puissance

Dans certains cas de déséquilibres oculomoteurs, la recherche de la vision binoculaire est si forte, que se développent des attitudes compensatrices au détriment d'autres secteurs corporels, cervicaux ou dorsaux par exemple, comme l'inclinaison-rotation de la tête qui peut évoluer vers le torticolis spasmodique.

Notons les facteurs déclencheurs de cervicalgies d'origine visuelle les plus fréquents en ophtalmologie :

- une nouvelle correction optique ;
- la période d'adaptation aux progressifs ;
- le travail sur écran sans ergonomie contrôlée, un poste de travail mal adapté.

Le poids de l'entrée visuelle en fonction de la prothèse optique choisie

Une correction optique précise avec astigmatisme, optimisant l'acuité visuelle, améliore l'équilibre orthostatique. Toute correction optique modifie l'équilibre binoculaire et l'équilibre postural des visuo-dépendants.

Selon l'absence ou le mode de correction de l'amétropie, la modification de l'espace visuel ressentie est différente, avec pour conséquence une variation de la posture.

En vision binoculaire

- La valeur de l'acuité visuelle augmente.
- Il y a modification des axes d'astigmatismes déterminés en monoculaire.
- Il est nécessaire de moduler la puissance des corrections d'anisométrie pour diminuer l'aniséiconie et favoriser la fusion.

En cas de chirurgie réfractive

Il est indispensable de mesurer l'équilibre binoculaire et les qualités de la vision binoculaire, avant et après chirurgie selon Laurent Laroche [43, 44].

À l'âge de la presbytie, il est parfois proposé de corriger l'œil dominant dans la tâche d'alignement pour la vision de loin, et l'œil dominé pour les tâches de près : il s'agit de la monovision, la « bascule ». Le recouvrement des parcours d'accommodation et le sens stéréoscopique peuvent être altérés. Ce choix, nommé « équipement social », requiert souvent une correction optique complémentaire, soit en vision de loin pour conduire, soit en vision de près pour des tâches avec fortes astreintes visuelles.

La correction chirurgicale irrégulière avec une zone asymétrique, par ablation asphérique de la cornée de l'œil dominé, le rend seul habilité aux tâches en vision de près et représente un équivalent de la monovision.

Conclusion

Selon Pierre Buser et Michel Imbert [45] : « Il est classique de considérer que les différentes modalités sensorielles restent bien séparées depuis les récepteurs jusqu'aux aires primaires. Pourtant, tout ce qui arrive à un moment donné dans le monde engage simultanément plusieurs entrées sensorielles, ce qui fait que dès les stades les plus précoces du développement, ce sont des informations multimodales, généralement cohérentes, qui convergent dans le cerveau. Des discordances entre plusieurs modalités sensorielles existent en permanence au cours de la croissance normale d'un organisme. Il faudra donc en permanence re-calibrer les processus discordants entre eux pour ramener le traitement vers plus de véracité ; ces corrections seront d'autant plus efficaces si la susceptibilité à l'erreur est prise en compte dans leur calcul. »

Ce point de vue est une excellente introduction à l'apport de la psychologie cognitive, déclinée par Stanislas Dehaene [41] qui analyse le comportement cérébral humain, à travers les fonctions physiologiques, les zones neuronales et structures cérébrales, explicitant les modèles des systèmes empiriquement

constatés et analysés selon des paradigmes expérimentaux qui en rendent compte. L'idée que l'architecture du cerveau est orientée et dédiée vers l'action impose des prises de décisions du type « tout ou rien » dans une nouvelle conception de la boucle perception-action réunissant le perceptif, le cognitif et le moteur. La seconde idée est que notre cerveau est un système actif capable, depuis les récepteurs sensoriels jusqu'aux structures cérébrales, de générer par codages des prédictions et d'en vérifier la validité. Nous retrouvons ainsi l'importance des concepts de représentations mentales, des modèles internes existants *a priori* et modulant par voies descendantes, *a posteriori*, les choix du sujet dans une finalité d'action et de compréhension de notre monde interne et externe. Le schéma corporel nécessaire en est un bon exemple [46].

4.4. Le pied et l'aplomb

Sylvie Legendre-Batier

Des pieds intelligents et sensibles

L'homme est l'unique mammifère bipède. Cette particularité lui permet de libérer ses mains pour utiliser des outils. Debout, ses pieds sont seuls en contact avec le sol et vont participer au maintien de cette position, à la marche et à la course.

Au quotidien, les pieds sont cachés, négligés, oubliés dans nos chaussures. Or, ils caractérisent l'homme, comme l'exprime l'énigme du Sphinx qui demanda à Œdipe : « quel animal a quatre pattes le matin, deux à midi et trois le soir ? » Notre langage est riche en images qui y font appel et qualifient une attitude, un comportement ou un état : « avoir les pieds sur terre » et « savoir sur quel pied danser », pour bien « retomber sur ses pieds » et « mettre un pied devant l'autre », afin de « trouver chaussure à son pied » avant d'« avoir un pied dans la fosse » et enfin de « partir les pieds devant ». Non seulement, notre vie peut être décrite en utilisant des images mettant en scène le pied, mais ce dernier est aussi tout naturellement une unité de mesure dont la valeur était fonction de la taille des pieds des rois. Le pied est donc capable de parcourir le monde, mais aussi de le mesurer.

Avoir les pieds sur terre

En 1837, Charles Bell [47] pose la question : comment l'homme maintient-il sa posture debout inclinée contre le vent qui souffle contre lui ? L'équilibre est la fonction qui permet le maintien de la posture en dépit des circonstances contraires qui tendent à la perturber.

La recherche de la stabilité a pour but de faire coïncider, sur un axe vertical, la force de pesanteur corporelle avec la force de réaction du sol.

La projection du centre de gravité se fait dans un quadrilatère de 10 mm de côté [48].

Le squelette humain est un assemblage de pièces superposées des pieds à la tête. La station érigée nécessite le maintien en équilibre de ce système de tiges articulées, par une contraction musculaire tonique dite « de posture » qui va rigidifier cette structure.

Deux expériences mettent en évidence ce phénomène :

- la réaction de soutien décrite par Bremer [49] sur le chien. L'expérience consiste à soulever un chien par la tête et la queue au-dessus du sol. L'animal va alors présenter une hypotonie des muscles des pattes et du dos. Si l'on applique ensuite un léger contact ses soles plantaires, on observe une extension des membres ;
- l'expérience de Rademaker [50] observe que chez l'homme, lorsqu'il est exercé une pression sous la plante des pieds, une réaction réflexe accroît le tonus des extenseurs des membres.

Le maintien de la posture orthostatique nécessite l'activation des sensations plantaires et les variations de cette posture vont dépendre du capteur plantaire.

D'autres expériences viennent confirmer le rôle primordial du pied dans la régulation de la posture :

- la première exclut de façon transitoire les afférences plantaires par une anesthésie ou une hypothermie de la sole plantaire. Il est constaté une corrélation entre l'évolution de la sensibilité à la pression et une modification de la position moyenne du centre de pression tant que dure l'anesthésie ou l'hypothermie [51-53] ;
- la deuxième modifie la nature du support sur lequel repose le sujet, permettant d'observer une modification des réponses posturales [54] ;
- la troisième [55] applique des stimulations sélectives sur des zones précises de la sole plantaire et observe des réponses posturales orientées en fonction de la localisation des stimuli.

La sole plantaire fonctionnerait comme une véritable « carte dynamométrique » qui renseigne en permanence le système nerveux central (SNC) sur les variations de position du pied sur le sol. Cette information, associée à celles des capteurs vestibulaires, visuel et proprioceptif, permet de connaître la position du corps dans l'espace – et ses modifications – afin d'organiser les réponses destinées à compenser les déséquilibres corporels.

Le physiologiste allemand Vierordt, dès 1864 [51], établit qu'il existe un lien entre pied et posture : « le corps se trouve en équilibre sur l'astragale comme une tige sur le doigt d'un jongleur ». Confortée en 1978 [56], cette image sera illustrée [57] par « la danse du balai », qui consiste à essayer de maintenir un balai en équilibre vertical en le soutenant par le bout du manche et décrit un passage de l'instabilité à la stabilité.

Le pied a une place privilégiée dans la régulation de la posture de par sa **triple** compétence : en tant qu'exo-capteur, il informe des variations de pression exercées sous la sole ; en tant qu'endo-capteur, il informe de la position relative de ses différentes pièces osseuses, mais aussi du corps par rapport à lui

(tibio-tarsienne et sous-talienne) ; enfin, acteur, de par ses contractions musculaires phasiques, il tend à ramener le centre de gravité à son point d'équilibre.

Être bête comme ses pieds ?

Cette expression est peu représentative de ce qu'est un pied. D'une part, son architecture est constituée de 26 os, mais aussi de 20 muscles plantaires et inter-osseux qui maintiennent cette structure. Il est communément décrit comme une structure à trois arches ou fermes : les voutes interne, externe et antérieure. Cette organisation en forme de trépied est capable de se déformer et de revenir à sa forme d'origine (figure 4.14).

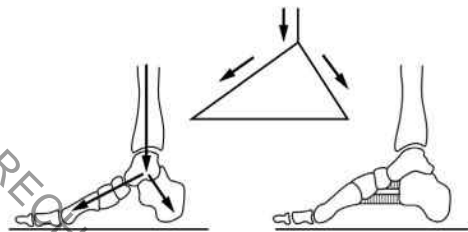


FIGURE 4.14. En haut, structure en « ferme » du pied. À gauche : assemblage de 26 os avec une répartition des forces du pied en station debout de 60 % sur l'arrière-pied et de 40 % sur l'avant-pied. À droite : maintien de la structure en ferme par un « entrait » amortisseur.

D'autre part, la sensibilité plantaire est importante. Pour s'en convaincre, il suffit de s'intéresser à la représentation de l'Homonculus de Penfield (figure 4.15) qui représente l'importance fonctionnelle des parties du corps en termes de neurones. Force est de constater l'importance de la place du pied, tant au niveau moteur que sensitif.

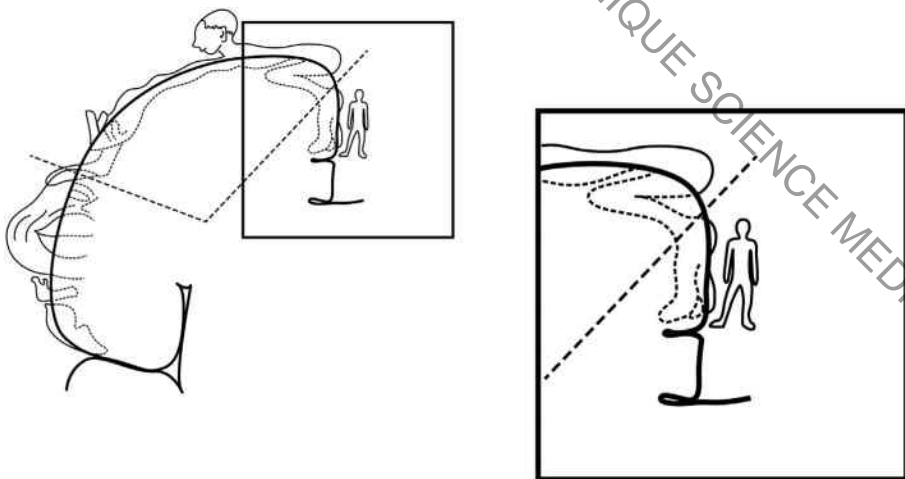


FIGURE 4.15. Sensibilité plantaire d'après Penfield.

D'après Delmas A., *Voies et centres nerveux : introduction à la neurologie*, Elsevier Masson, 1991, p. 81

La sole plantaire regorge de capteurs : des récepteurs de la sensibilité épicrotique, des mécanorécepteurs, des thermorécepteurs, nocicepteurs, et baropresseurs. Ceux-ci fournissent des informations relatives aux zones de contact du pied avec le support, à la pression, à la température et au mouvement du pied.

Avoir bon pied bon œil

Cette expression du langage commun illustre parfaitement la relation intime qui existe entre l'œil et le pied dans le maintien de la posture orthostatique.

Le corps humain est un assemblage de pièces squelettiques, et la station érigée nécessite le maintien en équilibre de ces différents segments. Toute perturbation de l'équilibre est captée et l'activité tonique musculaire est modifiée afin de le préserver. Classiquement, cette organisation en système se fait sous l'influence de trois entrées : l'œil, le capteur podal et le vestibule.

Lors de sa première année de vie, l'enfant va passer de la position assise à la bipédie pour ensuite améliorer ses différentes capacités de mouvement et d'équilibre jusqu'à l'âge adulte. Il va devoir maîtriser trois fonctions principales : la coordination entre posture et mouvement, la fonction d'anticipation et l'adaptation à son environnement [58].

L'organisation temporelle de cette posture orthostatique peut être soit ascendante (des pieds à la tête), soit descendante (de la tête aux pieds) en fonction de la tâche à effectuer. Ainsi, lorsque le sujet se trouve debout sur un support, celui-ci constitue un référentiel stable et l'organisation de sa posture se fait de façon ascendante à partir de cette interface sol/pied. *A contrario*, en situation plus instable sur un support étroit, la position de la tête constitue un référentiel stable et le sujet privilégie une organisation descendante du capteur céphalique au podal.

Le maintien de la station debout nécessite une adaptation en temps réel du choix du référentiel, une capacité d'anticipation et de réaction par rapport aux perturbations environnementales perçues par les différents capteurs, et une capacité de mise en place de stratégies vicariantes pour répondre aux nouvelles situations en mettant en jeu de nouvelles stratégies posturales. Le conflit visuo-podal en est un exemple : l'interposition d'une mousse, comme interface du pied et la plate-forme de stabilométrie, met en évidence le rôle des afférences podales dans la régulation de la posture orthostatique [59]. Comme le quotient de Romberg [60], le quotient plantaire est défini par :

$$QP = \frac{\text{Surface avec mousse}}{\text{Surface sur sol dur}} \times 100$$

Un QP > 100, sur mousse Dépron de 6 mm, signifie des afférences podales perturbatrices [59].

La manipulation des sensations perçues par le capteur plantaire a été mise en évidence par différentes expériences (suppression transitoire, stimulation de zones ou mise en décharge de parties nocives).

Depuis les semelles proprioceptives proposées par Bourdiol [61], les travaux de Janin [62] sur les épaisseurs des stimulations plantaires ou la mise en place de semelles thermoformées, les moyens d'action sur la position spatiale du corps et du tonus musculaire sont divers et nombreux. Mais quel choix d'orthèse faire et sur quel principe de fonctionnement ?

Plusieurs principes d'action des semelles orthopédiques sur le tonus de posture sont évoqués, allant des semelles qui agiraient sur les chaînes musculaires décrites par Struyf-Denys [63] aux orthèses thermoformées qui permettraient de restituer toutes les informations plantaires, en passant par la mise en décharge des zones nocives d'appui plantaire ou encore la stimulation de zones plantaires spécifiques par des inserts de faible épaisseur. Toutes ces possibilités ont été étudiées expérimentalement et ont montré une modification statistiquement significative de la posture orthostatique.

Une hypothèse reste à évoquer : lors de la pose d'un élément médio-interne sous un pied, une pression plus importante est exercée sur cette zone. Perçue comme une exagération de la position en valgus du pied, cette « illusion » sensorielle [64] provoquerait la contraction réflexe d'une chaîne musculaire spécifique [61] dans le but de corriger le valgus. Un élément, placé sous différentes zones plantaires, agirait comme un leurre et permettrait de prédire la variation induite, notamment sur la position des repères anatomiques [61] et sur certains paramètres stabilométriques [62].

Toutes ses stimulations, utilisées par les podologues, vont modifier le tonus et, par conséquent, l'orientation spatiale du corps. Elles doivent être, cependant, conservées un certain temps, difficile à prédire et qui semble dépendre des capacités d'adaptation propres du sujet, afin d'obtenir une « reprogrammation » du contrôle postural.

Marcher sur des œufs

Les épines irritatives d'appuis plantaires conscientes (EIAP) ou inconscientes (EIAPI), dénommées ainsi par certains auteurs, ne semblent tenir compte que des nocicepteurs. Leur mise en évidence se faisait sur deux critères : l'interposition d'une mousse entre la sole et le support élimine au moins une des huit dysfonctions possibles au test posturo-dynamique et quadrilatère pelvi-pédieux. Comme le précisent les auteurs [66], la définition des EIAPI est imprécise : douleur spontanée ou provoquée, consciente ou non, avec ou sans retentissement postural isolé ou associé à une douleur, spontanée ou provoquée, les EIAP exploreraient, entre autres, l'existence ou non d'une information plantaire inhabituelle.

Les EIAPI apparaissent, en fait, dans l'ensemble des pathologies plantaires comme des zones nocives podales affectant la somesthésie cutanée plantaire [66], dont la meilleure définition paraît être : « la réduction du score au posturo-dynamique étendu (posturo-dynamique et podo-pelvien) entre sol dur et mousse, une douleur à la pression perçue de façon asymétrique entre les deux pieds sur la même localisation et la perte de discrimination entre deux stimuli » [67].

Les études, pourtant nombreuses, n'ont pas permis de préciser cette définition : peut-on confondre la notion d'épine irritative avec l'influence du capteur podal dans toute sa richesse ?

Lorsque les capacités de déformation, liées à son architecture, sont dépassées, le pied va devenir pathologique et continuer de se déformer, comme pour l'hallux valgus (déformation du premier rayon du pied). Sans pour autant, au début, présenter des signes douloureux conscients, les conséquences sont triples : une perturbation des afférences tactiles, proprioceptives et de la capacité à s'adapter pour maintenir la station debout.

Conclusion

Le pied est bien un acteur privilégié de la station orthostatique du fait de ses multiples compétences. Lors de l'examen clinique postural, une investigation rigoureuse et précise de ce capteur est indispensable afin de pouvoir proposer un traitement efficace. Il reste nécessaire de continuer à étudier toutes les capacités du pied et les modes d'actions sur celui-ci afin de mettre en place les traitements les plus efficaces possibles.

Pour reprendre P.M. Gagey : « Nous savons être en présence d'un malade postural, lorsque le traitement a permis de supprimer sa plainte. »

Bibliographie

Les otolithes et la régulation posturale

1. Ez-Zaher L, Lacour M. Effect of post-operative treatment with an extract of Ginkgo Biloba (Egb 761) on central vestibular compensation in the cat. In: Lacour M, Toupet M, Denise P, Christen Y, editors. *Vestibular compensation: facts, theories and clinical perspectives*. Paris: Elsevier; 1989. p. 209–23.
2. Van Nchel Ch, Toupet M, Bodson I. The Subjective Visual Vertical. *Adv. Oto-Rhino-Laryngol.* 2001;58:77–87. Basel, Karger.
3. Tran Ba Huy P, Toupet M. Peripheral Disorders in the Otolith System. A Pathological and Clinical Overview. *Adv. Oto-Rhino-Laryngol.* 2001;58:110–28. Basel, Karger.
4. Gagey PM, Toupet M. *Orthostatic postural control in vestibular neuritis: a stabilometric analysis*. Annals Otol (Saint-Louis) 1991;100:971–5.

La proprioception musculaire

5. Roll J-P. Les muscles, organes de la perception. *Pour la Science* Juin 1998;92–9.
6. Roll R, Velay J-L, Roll J-P. Eye and neck proprioceptive messages contribute to the spatial coding of retinal input in visually oriented activities. *Exp Brain Res* 1991;85:423–31.
7. Trotter Y. Des muscles pour voir en trois dimensions. *La Recherche* 1992;248(23):1320–2.
8. Roll, et al. 2003 Physiologie de la kinesthèse. La proprioception musculaire : sixième sens ou sens premier. *Intellectica* 2003;36-37:49–66.
9. Roll J-P, Roll R. Le Schéma corporel. *Sciences et Vie. Les fonctions du Cerveau*. Excelsior Publications (Paris), Hors-série N° 195, Juin 1996, 70–79.
10. Roll J-P, Bergenheim M, Ribot-Ciscar E. Proprioceptive population coding of 2-D limb movements in humans. Part II. Muscle spindle feedback during “drawing like movements”. *Exp Brain Res* 2000;134:311–21.
11. Albert F, Bergenheim M, Ribot-Ciscar E, Roll J-P. *The Ia afferent feedback of a given*

- movement evokes the illusion of the same movement when return to the subject via muscle tendon vibration.* Exp Brain Reserch 2006;19:1–12.
12. Bergenheim M, Ribot-Ciscar E, Roll J-P. Proprioceptive population coding of 2-D movements in humans. Part I. *Muscle spindle feedback during "spacially oriented movements"*. Exp Brain Reserch 2000;134:311–21.
 13. Thyron C, Roll J-P. Predicting Any Arm Movement Feedback to Induce Three-Dimensional Illusory Movements in Humans. *Journal of Neurophysiology* 1 August 2010;104(2):949–59.
 14. Thyron C, Roll J-P. Perceptual Integration of Illusory and Imagined kinesthetic Images. *The Journal of Neuroscience* 2009;29(26):8483–92.
 15. Roll J-P, Vedel J-P, Ribot E. Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in Man : a microneurography study. *Exp Brain Reserch* 1989;76:213–22.
 16. Roll J-P, Gilhodes JC, Roll R, Harlay F. Are proprioceptive sensory inputs combined into a "Gestalt"? Vibration-induced virtual hand drawing or visual target motion. *Attention and Performance* 1995;12:291–314.
 17. Goodwin GM, McCloskey DI, Matthews PB. Proprioceptive illusions induced by muscle vibration: contribution by muscle spindles to perception? *Science* 1972;175:1382–4.
 18. Roll J-P, Albert F, Thyron C, Ribot-Ciscar C, Bergenheim M, Mattei B. Inducing Any Virtual Two-Dimensional Movement in Humans by Applying Muscle Tendon Vibration. *Journal of Neurophysiology* 1 February 2009;101(2):816–23.
 19. Roll J-P, Roll R. From eye to foot: a "proprioceptive chain" involved in postural control. In: Amblard B, Berthoz A, Clarac F, editors. *Posture and Gait: development, adaptation and modulation*; 1988. p. 155–64.
 20. Kavounoudias A, Roll R, Roll J-P. The plantar sole is a "dynamometric map" for human balance control. *NeuroReport* 1998;9:3247–52.
 21. Kavounoudias, et al. Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol (London)* 2001;2001(532):869–78.
 22. Roll R, Kavounoudias A, Roll J-P. Cutaneous afferents from human plantar sole contribute to body posture awareness. *Neuroreport* 2002;13:1957–61.
 23. Naito E, Ehrsson HH, Geyer S, Zilles K, Roland PE. Illusory hand movements activate cortical motor areas: a positron emission. *J Neurosci* 1999;19(14):6134–44.
 24. Romaguère P, Anton JL, Roth M, Casini L, Roll J-P. Kinaesthesia activates both motor and parietal cortical areas in humans: a parametric fMRI study. *Cogn Brain Res* 2003;16:74–82.
 25. Roll R, Kavounoudias A, Albert F, Legré R, Gaya A, Fabre B, Roll J-P. Illusory movements prevent cortical disruption caused by immobilization. *NeuroImage* 2012;62(1):510–9.
 26. Duclos C, Roll R, Kavounoudias A, Roll J-P. Cerebral correlates of the "Kohnstamm phenomenon": An fMRI study. *NeuroImage* 15 January 2007;34(2):774–83.
 27. Calvin-Figuière, et al. Relation between the direction of vibration-induced kinesthetic illusions and the pattern of activation of antagonist muscles. *Exp Brain Reserch* 2000;881:128–38.
 28. Roll R, Kavounoudias A, Alberta F, Legré R, Gaya A, Fabre B, Roll J-P. Illusory movements prevent cortical disruption caused by immobilization. *NeuroImage* 2012;62(1):510–9.
 29. Velay JL, Roll R, Lennerstrand G, Roll J-P. Eye proprioception and visual localization in humans: Influence of ocular dominance and visual context. *Vision Research* August 1994;34(16):2169–76.

L'entrée visuelle du système postural d'aplomb

30. Pr Buser P. Neurophilosophie de l'esprit. Ces neurones qui voudraient expliquer le mental - Odile Jacob, 2013.
31. Pr Paillard J. Recherches sur la construction de l'espace. *Cahiers de psychologie* -1971. Volume 14, n° 4. Société de Psychologie du Sud-Est et l'Université de Provence.
32. Dr Lanthony P. *Dictionnaire du Strabisme* – Maloine, 1983.

33. Pr Berthoz A. *Le sens du mouvement* – Odile Jacob, 1997.
34. Howard IP, Rogers BJ. Seeing in Depth. Volume 1: Basic Mechanics. Volume 2: Depth Perception, Oxford University Press.
35. Pr Milleret C, Dr Bui Quoc E. Origins of strabismus and loss of binocular vision. *Front. Integr. Neurosci.*, 25 Septembre 2014 I doi : 10.3389/fnint.2014.00071.
36. Dr Bui Quoc E. Les voies visuelles. In Pr Pêchereau A. Strabisme : Rapport de la Société française d'ophtalmologie, Masson, 2013, p. 417-446.
37. Lions C. Les mouvements oculaires et le contrôle postural chez l'enfant strabique. Thèse de Doctorat en Sciences Cognitives soutenue le 06/10/2014 au Collège de France.
38. Pr Orsal D, Pr Richard D. Neurophysiologie : Organisation et fonctionnement du système nerveux – Dunod, 3^e édition – 2007.
39. Pr Buser P et Pr Debru C. Le Temps, instant et durée de la philosophie aux neurosciences – Odile Jacob, 2011.
40. Bouveresse J, Rosat J-J. Philosophies de la perception, séminaires du Collège de France – Odile Jacob, 2003.
41. Pr Dehaene S. Les Neurones de la lecture - Odile Jacob, 2007.
42. Pr Risse J-F, Pr Hache J-C. Exploration de la fonction visuelle. Rapport de la Société française d'ophtalmologie – Masson, 1999.
43. Pr Laroche L. La Chirurgie de la cataracte – Masson, 1996.
44. Pr Laroche L. La Chirurgie réfractive en 2020 – Académie de Médecine, 2012.
45. Pr Buser P, Imbert M. Vision; neurophysiologie fonctionnelle IV. Hermann, 1987.
46. Pr Safran A. Neuro-ophtalmologie. Rapport de la Société Française d'Ophtalmologie – Masson, 2004

Le pied et l'aplomb.

47. Bell C. *The Hand. Its mechanism and vital environment*. London: V. Pickering; 1837.
48. Toulon R. *Équilibration humaine et évaluation de la posture debout*. Paris: Maloine; 1956.
49. Bremer F. Researches on the contracture of skeletal muscle. *Journal of physiology* 1932;.
50. Rademaker GGJ. *Réactions labyrinthiques et équilibre*. Masson; 1935.
51. Vierordt Karl von. (1860, 1862, 1864, 1871, 1877). *Grundriss der Physiologie des Menschen*. H. Laupp, Tuebingen.
52. Magnusson M, Enbom H, Johansson R, Pykkö I. The importance of somato-sensory information from the feet in postural control in man. In: Brandt Th, Paulus W, Bles W, editors. *Disorders of posture and gait*. Stuttgart: Georg Thieme; 1990. p. 190-3.
53. André-Deshays C, Revel M. Rôle sensoriel de la plante du pied dans la perception du mouvement et le contrôle postural. *Méd. Chir. Pied* 1988;4:217-23.
54. Okubo J, Watanabe I, Baron JB. Study on influences of the plantar mechanoreceptors on body sway. *Agressologie* 1980;21(B):61-70.
55. Kanouvas, Roll R, Roll J-P, Gilhodes J-C. Sensibilité tactile plantaire et contrôle postural. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre*. Sauramps; 1999.
56. Roberts TDM. Neurophysiology of postural mechanisms. 2^e ed. (London): Butterworths; 1978.
57. Gagey PM, Weber B. *Posturologie régulation et dérèglements de la station debout*. Masson; 1996.
58. Assaïante C, Mallau S, Viel S, Schmitz C. Approche fonctionnelle du développement postural chez l'enfant sain et pathologique. In: Lacour M, Pérennou D, editors. *Posture et équilibre, Efficience et déficiences du contrôle postural*. Solal; 2006.
59. Dujols A. Quotient plantaire et conflit visuo-podal. *Agressologie* 32, 3, 192-194.
60. Van Parys JAP, Njikiktjen Ch – Romberg's signe expressed in quotient. *Agressologie* 1976;17(B):95-100.
61. Bourdiol R-J, Capelus F, Nguyen Tan H, Hatoum P. *Pied et statique*, Maisonneuve, 1980.

62. Janin M. Modification des critères posturaux par des éléments rétrocapitaux, dits barres antérieures, d'épaisseurs variées. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Pied, équilibre et traitements posturaux*. Masson; 2003.
63. Struyf-Denys G. *Les chaînes musculaires et articulaires*. Édition ICT GDS; 2000.
64. Safin J-L. Illusions et manipulations du canal somato-sensoriel. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Masson; 2003.
65. Leporck AM, Villeneuve P. Les épines irritatives d'appui plantaire. Objectivation clinique et stabilométrique. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Frison-Roche; 1996.
66. Weber B, Nouhet B, Villeneuve-Parpay S. Examen clinique et stabilométrie sur mousse. État de la question. In: Villeneuve P, Weber B, editors. *Pied, équilibre et mouvement*. Masson; 1997.
67. Janin M. *Sensibilité et motricité podales : leur influence sur le contrôle des activités posturo-cinétiques de sujets sains et pathologiques*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse 3 Paul Sabatier, 2009.
68. Janin M. Le traitement de l'épine irritative d'appui plantaire inconsciente (t4) améliore la performance posturale. *Neurophysiologie Clinique* ; p. 399, Congrès Sofpel, Paris, 2016.

CHAPITRE 5

Aplomb et mouvement

Introduction

Pierre Marie Gagey

Aplomb et degrés de liberté des segments corporels (biomécanique et équilibre tonique : deux facteurs indépendants)

L'examen clinique postural nous fait régulièrement constater des restrictions de mobilité articulaire labiles pour nous, posturologues ; en effet, à la moindre manipulation d'une entrée du système postural d'aplomb, elles peuvent disparaître ou se renforcer.

Il est impensable de rattacher ces restrictions de mobilité à autre chose qu'aux muscles ; la géométrie des surfaces articulaires, elle, ne peut pas changer ainsi d'un instant à l'autre. Certes, nous savons que la commande motrice dépend de l'intégration de l'ensemble des informations posturales, mais au niveau de l'effecteur musculaire, nous sommes mal armés pour comprendre ce que nous observons ; c'est pourquoi nous avons demandé à Olivier Gagey, chirurgien orthopédique, professeur d'anatomie, journallement au contact de la matière musculaire, de nous expliquer ce qu'impliquent les comportements musculaires que nous observons ; leurs variations instantanées de direction et d'intensité cadrent mal avec le concept traditionnel du muscle ficelle.

5.1. Les systèmes musculaires complexes

Olivier Gagey

En dépit de l'évolution des connaissances sur la physiologie intime du tissu musculaire et de sa complexité fascinante faite de l'association de milliards de nanomachines synchronisées, en série comme en parallèle, dotée d'une capacité

de réparation grâce aux cellules marginales et objet d'un contrôle moteur infiniment subtil, les praticiens du mouvement vivent encore essentiellement sous l'emprise du paradigme du « muscle ficelle ». Le muscle ficelle est évidemment une réalité attestée par un corps charnu, globalement linéaire ; au niveau de l'insertion effectrice, la présence d'un tendon homogène parfaitement individualisé, qui matérialise le champ de force appliqué, en indique la direction et suggère l'importance du module de cette force.

Cependant, plusieurs muscles échappent totalement à cette description, soit au niveau de l'insertion, soit en raison de la géométrie du corps musculaire. Ils répondraient à une autre organisation, que nous appelons « système musculaire complexe ». Ce texte tente d'en proposer la notion et d'en formuler les caractères.

Cette notion repose sur deux bases principales. La première est la généralisation, en leur état actuel, de travaux conduits depuis plusieurs années sur la fonction du muscle deltoïde et sur ce que nous dénommons « fonction non linéaire du muscle » ; la seconde est l'expérience clinique acquise depuis 15 ans qui nous a enseigné que l'insuffisance musculaire est un élément fondamental de la genèse de douleurs chroniques : le renforcement musculaire « à tout prix » – même au prix de quelques douleurs – est souvent une voie efficace pour sortir de l'impasse douloureuse.

La fonction musculaire non linéaire : l'exemple du deltoïde

Il est indispensable aujourd'hui de sortir du modèle simpliste du « muscle ficelle », c'est-à-dire de la conception que l'effecteur produirait uniquement une force linéaire entre deux insertions osseuses. Le terme d'action non linéaire vise à prendre en compte les actions d'interface entre le muscle et les structures anatomiques sous-jacentes. À cet égard, le deltoïde représente un excellent modèle d'étude.

La réalité anatomique

Dans le plan vertical, le deltoïde antérieur s'enroule autour de l'extrémité supérieure de l'humérus (figure 5.1) : lorsque le bras est au repos, le changement de direction des fibres est supérieur à 90° ! Dans le plan horizontal, il a également des rapports très étroits avec l'extrémité supérieure de l'humérus et les tendons de la coiffe, puisqu'il est au contact des faces antérieure, latérale et postérieure de l'ensemble.

Le deltoïde n'a pas de tendon distal individualisé (figures 5.2.A et B) « V » deltoïdien est un mille-feuille de cloisons fibreuses mélangées à des fibres musculaires ; la large surface qu'il occupe, plusieurs centimètres carrés, intéresse la moitié de la circonférence de l'humérus (figure 5.2.C).

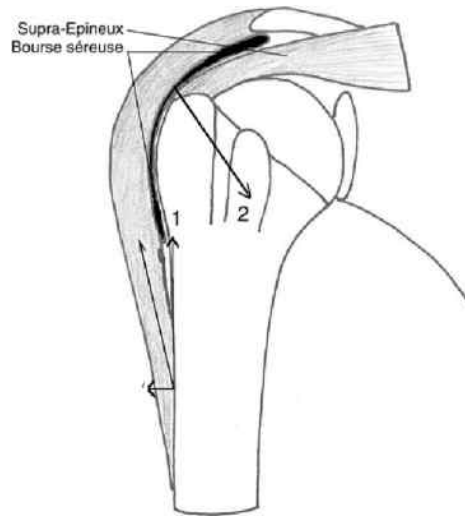


FIGURE 5.1. La force exercée par le deltoïde à son insertion a été décomposée en deux vecteurs. La composante verticale (1) à l'insertion est compensée par la résultante (2) des forces appliquées à l'extrémité supérieure de l'humérus. L'estimation semi-quantitative montre que les deux composantes verticales s'annulent.

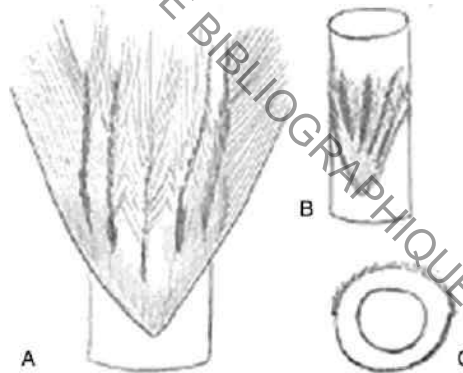


FIGURE 5.2. Insertion du deltoïde sur l'humérus.

- A. L'extrémité distale du deltoïde n'est pas sous forme de tendon homogène.
- B. L'insertion consiste en un feuilleté d'insertions musculaires directes et d'insertions de feuillets fibreux, l'ensemble formant le « V » deltoïdien.
- C. Sur une coupe d'humérus, l'insertion distale entoure la moitié de la circonférence de l'humérus.

L'analyse mécanique

Dans le schéma mécanique classique, le deltoïde est considéré comme un muscle « pervers » : la décomposition vectorielle classique de la force appliquée à son insertion humérale se traduit en effet par une faible composante utile

responsable de l'élévation de l'humérus et une importante composante verticale entraînant l'ascension de l'humérus et requérant une action de la coiffe des rotateurs, notamment du supra-épineux, pour stabiliser la tête humérale et bloquer sa migration supérieure. Ce calcul vectoriel, en soi exact, est incomplet. L'analyse fonctionnelle du deltoïde à la lumière de son organisation anatomique montre en effet qu'il faut prendre en compte les forces exercées par le muscle sur l'interface avec l'extrémité supérieure de l'humérus, un peu comme un câble qui tourne autour d'une poulie exerce une force sur l'axe de cette poulie.

En ne considérant que les composantes impliquées dans le plan vertical, la première étape de cette étude a donc utilisé un modèle simpliste, celui du câble (le muscle) autour d'une poulie (l'humérus). Le deltoïde est divisé en éléments-câbles dont les résultantes sont calculées et sommées géométriquement sur les coupes IRM à haute résolution. Ce modèle fournit des résultats semi-quantitatifs selon lesquels le deltoïde exerce une force résultante appliquée à la tête et dirigée vers le bas. Cette force est au moins égale à la composante verticale appliquée au niveau de l'insertion humérale, ce qui revient à dire que le muscle deltoïde neutralise sa composante verticale nocive [1-4].

La deuxième étape a consisté en une simulation expérimentale cadavérique de la contraction du deltoïde. Elle a montré qu'effectivement, en l'absence de toute contraction de la coiffe des rotateurs, le deltoïde provoquait l'élévation du bras en stabilisant de manière très satisfaisante la tête humérale dans le plan vertical.

Enfin, une modélisation par éléments finis reposant sur une analyse morphologique attentive et reproduisant cette expérience a permis de retrouver les mêmes résultats.

Au niveau de l'insertion inférieure

L'insertion inférieure du deltoïde n'apparaît pas seulement comme une zone de traction, mais agit comme une pince qui implique de la part du muscle un contrôle de la rotation de l'humérus autour de son grand axe.

La bourse séreuse sous-deltoïdienne

Plusieurs raisons conduisent à reconsidérer le rôle de cette structure de type para-synovial. D'une part, elle contient des terminaisons nerveuses libres, c'est-à-dire les éléments propres de la douleur, alors que les tendons sont très faiblement innervés. Les nerfs sont en effet présents, surtout au niveau du péritendon (en l'occurrence, la bourse séreuse pour le supra-épineux) et au voisinage des vaisseaux qui sont très peu abondants dans le corps du tendon. Cela revient à dire qu'un tendon peut difficilement être douloureux en soi. On commence cependant à découvrir que, lors de douleurs chroniques, une innervation accompagne les vaisseaux néoformés [5,6,10]. D'autre part, l'action du deltoïde sur l'extrémité supérieure de l'humérus se fait par l'intermédiaire de cette bourse séreuse (figure 5.1) [7] ; en d'autres termes, lorsque la bourse séreuse

est douloureuse, la fonction deltoïdienne se trouve profondément modifiée en raison de l'activation des voies nerveuses nociceptives. C'est très probablement l'activation de la boucle gamma à partir de la bourse séreuse sous-deltoïdienne douloureuse qui est à l'origine de la plupart des impotences douloureuses de l'épaule par un mécanisme d'inhibition de la fonction deltoïdienne.

Le concept d'insuffisance deltoïdienne

Nous faisons donc l'hypothèse que la douleur chronique de l'épaule a pour conséquence première une inhibition prolongée du muscle deltoïde, conduisant à son insuffisance fonctionnelle, laquelle modifie profondément des forces d'interface, conduit à une perte de la fonction stabilisatrice du muscle et probablement à des phénomènes de micro-instabilité de l'épaule.

Confirmation clinique

En se contractant, un muscle passe d'un état flaccide à un état semi-rigide. Ce fait est une des clefs de compréhension qui permet d'envisager la transmission de forces aux interfaces. Ce principe s'applique à tous les systèmes musculaires complexes.

Depuis plusieurs années, nous avons donc systématiquement proposé un travail de renforcement musculaire attentif et prolongé sur toutes les épaules douloureuses vues en consultation. Il s'agissait principalement d'un travail d'autorééducation pluriquotidien, illustré par la [figure 5.3](#), associé si possible à la pratique régulière de la brasse et réalisé sur une période de trois mois ; ce travail d'autorééducation était présenté au patient comme un préalable indispensable avant que soit envisagée toute intervention chirurgicale. Ce programme comportait une information complémentaire, importante, précisant l'absence complète d'urgence chirurgicale et la nécessité d'accepter un minimum de douleurs au cours des exercices nécessairement intensifs et réguliers.

Le résultat de cette stratégie a été étonnamment favorable, puisque plus de 85 % des patients, toutes catégories confondues, ont éprouvé au bout de trois mois une amélioration très importante de la fonction de l'épaule (l'EVA passant



FIGURE 5.3. Le « battement » d'ailes correspond à un travail quasiment électif du muscle deltoïde (faisceaux antérieur et moyen).

en moyenne de 6 à 2, voir chapitre 11.1), au point que l'idée d'une intervention n'était plus d'actualité.

La conclusion de ce travail paraît être aujourd'hui la suivante : le muscle deltoïde est un stabilisateur fondamental de l'extrémité supérieure de l'humérus en se comportant un peu comme un bonnet gonflable qui se « moule » sur l'extrémité supérieure de l'humérus et contribue à sa stabilité. Notre expérience clinique suggère fortement que l'insuffisance fonctionnelle du deltoïde est à l'origine d'un grand nombre de douleurs chroniques de l'épaule, avec ou sans rupture de la coiffe des rotateurs, par le biais d'une perte de stabilité de l'humérus.

L'appareil extenseur du genou

Le syndrome rotulien est connu pour sa fréquence et l'importance du tableau douloureux (aigu ou chronique) qu'il peut parfois entraîner. Il est également reconnu depuis très longtemps que la guérison d'un grand nombre de syndromes rotuliens passe inévitablement par la reprise d'activités physiques régulières, progressives et soutenues [8,9].

Il est simple d'isoler au sein de ces syndromes rotuliens le tableau d'insuffisance majeure du quadriceps : il associe une atrophie facilement mesurable, une incapacité à provoquer une extension de la jambe active, rapide, complète et maintenue sans trémulation pendant au moins dix secondes. Cependant, il existe souvent des formes moins caricaturales qu'il convient de rechercher attentivement. Cette insuffisance du quadriceps est caractérisée fondamentalement par l'impossibilité d'une contraction explosive et synchrone qui s'accompagne d'un changement d'état du muscle : il passe instantanément de l'état flaccide à celui de corps semi-rigide.

L'étude anatomique attentive du quadriceps est surprenante en raison du paradoxe mécanique qu'elle met en évidence. Le chef droit antérieur entre sans problème dans la catégorie des muscles ficelles. Il représente moins de 20 % du volume total du quadriceps.

Par contre, le vaste intermédiaire, parce qu'il tapisse pratiquement la moitié antérieure du fémur, voit sa capacité de raccourcissement et, en conséquence, sa contribution à la force d'extension limitée. Les deux chefs vastes (latéral et médial) sont insérés sur les deux lèvres de la ligne âpre du fémur, c'est-à-dire en arrière de l'os et donc au niveau ou un peu en arrière de l'axe virtuel d'extension du genou. Seules leurs insertions supérieures mettent les fibres correspondantes en position de jouer un rôle extenseur efficace. Plus de la moitié de la masse des chefs vastes latéral et médial est donc « hors course » au regard de la production de la force d'extension.

L'étude du tendon quadricipital montre qu'il ne s'agit pas d'un tendon homogène, bien délimité comme le tendon rotulien ou le tendon d'Achille, mais d'un ensemble complexe constitué d'un « feuilletage » de lames fibreuses émergeant progressivement des chefs musculaires. L'insertion se fait pratiquement sur la moitié de la circonférence rotulienne (figure 5.4.A). Ces attaches hétérogènes et très étendues suggèrent que l'action du muscle ne se fait pas selon un vecteur unique.

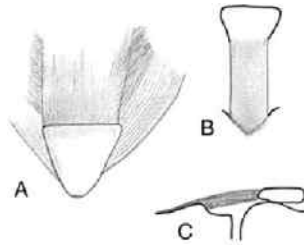


FIGURE 5.4. Insertion distale du quadriceps.

A. Le « tendon » du quadriceps est hétérogène, l'attache du quadriceps se fait sur le pourtour de la moitié supérieure de la rotule.

B. Le tendon rotulien de face, en revanche, est homogène, plat et bien identifié.

C. Tendon rotulien de profil.

La rotule est enserrée par le muscle quadriceps pour sa moitié supérieure et par le tendon rotulien pour son tiers inférieur (figures 5.4.B et 5.4.C). Cette disposition laisse imaginer que la mise en tension de l'appareil extenseur contribue autant à stabiliser la rotule qu'à la mobiliser. Dans cette perspective, le changement d'état du quadriceps lorsqu'il se contracte prend tout son intérêt.

Le rachis lombaire et le rachis cervical

Ces deux régions peuvent être étudiées simultanément. La prise en compte des différents chefs musculaires constituant permet difficilement de rendre compte de l'action musculaire. Leurs zones d'insertion très étendues sont extrêmement complexes : les parois des gouttières paravertébrales sont rigides, l'aponévrose de ces muscles est particulièrement solide. Ces insertions se présentent donc comme une véritable loge ostéo-fibreuse dans laquelle la contraction musculaire provoque une augmentation importante de pression. Ces muscles, qui se comportent vraisemblablement comme des vérins hydrauliques apposés aux vertèbres, participeraient ainsi à leur stabilité : cette fonction trouve sa meilleure démonstration dans le syndrome de la minerve et la sensation d'instabilité que l'insuffisance musculaire procure au patient.

Le système du muscle trapèze

Il est caractérisé par l'absence totale de tendon. Le rôle du muscle dans la stabilisation de la scapula est connu et majeur. Par son insertion tout le long de l'épine et de l'acromion, il suspend la scapula à l'occiput, au rachis cervical et thoracique (de C0 à T11) et prend une part importante au mouvement de sonnette.

Conclusion

Les systèmes musculaires complexes apparaissent donc comme des ensembles qui possèdent la quasi-totalité des propriétés anatomiques suivantes : une masse

musculaire de surface et de volume importants. Ils sont souvent situés au sein de sacs aponévrotiques puissants qui favorisent la montée en pression dans la loge. Ils présentent des insertions distales complexes et étendues, contrairement aux tendons homogènes et linéaires, qui eux, sont à l'origine d'une action motrice simple, orientée selon un vecteur unique. Enfin, ils présentent une interface avec l'os très étendue.

Physiologiquement, les actions linéaires ne peuvent pas, à elles seules, résumer l'action de ces muscles ; leur rôle stabilisateur régional est important. Les changements d'état physique du muscle (corps semi-rigide) expliquent mieux le mécanisme de stabilisation que la simple prise en compte des vecteurs force.

Cliniquement, les systèmes musculaires complexes sont localisés dans des régions caractérisées par l'intensité des syndromes douloureux aigus ou chroniques, non focalisés, dont elles sont le siège. Il est enfin très probable, que la genèse de ces douleurs s'explique par les phénomènes de micro-instabilité des articulations, phénomènes générés par l'insuffisance des muscles concernés.

5.2. La biomécanique et le tonus

Alain Scheibel, Pierre Marie Gagey

Tout mouvement corporel est en relation avec les formes des surfaces articulaires et les forces des contractions musculaires qui agissent sur elles.

Lorsque les contractions musculaires sont conformes à la cinétique des surfaces articulaires, le mouvement s'effectue normalement, dans des conditions optimales.

Lors d'anomalie tonique, quelle qu'en soit la cause, les forces exercées par les muscles sur les articulations ont des moments différents qui engendrent à court terme une modification visible de la trajectoire du mouvement, et à plus ou moins long terme gêne puis douleur.

Au niveau des surfaces articulaires, les pressions engendrées ne s'expriment plus sur toute la totalité de la surface. Le cartilage du côté en hyperpression perdra sa couche de liquide synovial et s'usera prématurément.

Un traitement visant à rééquilibrer le tonus, doublé d'un traitement manuel, pourra modifier ces déséquilibres et non seulement soulager les douleurs, mais aussi prévenir les impotences fonctionnelles qui pourraient en découler.

Bibliographie

Les systèmes musculaires complexes

1. Billuart F, Miton D, Devun L, Skally W, Gagey O. Role of deltoid and passive elements in stabilization during abduction motion (0° to 40°): an ex vivo study. *Surg Radiol Anat* 2008;7:563–8. 30.
2. Frye JL, Ramey LN, Hart JM. The effects of exercise on decreasing pain and increasing function in patients with patellofemoral pain syndrome: a systematic review. *Sports Health* 2012;4(3). 205-0.

3. Gagey O, Skalli W, Mitton D, Billuart F, Devun L. 3D kinematics of the glenohumeral joint during abduction motion: an ex-vivo study. *Surg Radiol Anat* 2007;29:291–5.
4. Gagey O, Skalli W, Mitton D, Billuart F. Biomechanics Of The Deltoideus. *Surg Radiol Anat* 2006;1:76–81. 28.
5. Bjur D, Alfredson H, Forsgren S. The innervation pattern of the human Achilles tendon: studies of the normal and tendinosis tendon with markers for general and sensory innervation. 1. *Cell Tissue Res* 2005;320(1):201–6.
6. Moyano FR, Valenza M, Martin LM, Caballero YC, Gonzalez-Jimenez E, Demet GV. Effectiveness of different exercises and stretching physiotherapy on pain and movement in patellofemoral pain syndrome: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2012 Oct. IS - 1477-0873 (Electronic Pub).
7. Duranthon LD, Gagey O. Anatomy and function of the subdeltoid bursa. *Surg Radiol Anat* 2001;23:23–5.
8. Danielson P, Alfredson H, Forsgren S. Distribution of general (PGP 9.5) and sensory (substance P/CGRP) innervations in the human patellar tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006 Feb;14(2):125–32.
9. Gagey O, Hue E. Mechanics of the deltoideus, a new approach. *Clin Orthop* 2000;375:250–325.
10. Xu Y, Bonar F, Murrell GA. Neoinnervation in rotator cuff tendinopathy. *Sports Med Arthrosc* 2011 Dec;19(4):354–9.

CHAPITRE 6

Conditions d'étude
et validationAlain Scheibel, Pierre Marie Gagey

Pour tous thérapeutes, le but de l'examen clinique est de déterminer, rapidement, par quelle entrée du SPA, il est préférable d'intervenir afin de modifier l'asymétrie tonique pathogène, et ainsi permettre à tous les autres traitements leur pleine efficacité.

Après l'interrogatoire, les différents tests vont déterminer l'état tonique initial. La manipulation des entrées oriente ensuite vers où il faut intervenir – pied, œil, appareil manducateur ou proprioceptif – pour générer la meilleure réponse tonique. Cette réponse sera vérifiée par tous les tests de départ [1].

Un test a pour but de quantifier ou qualifier la variation induite par un stimulus, qu'il soit postural ou mécanique. Quantifier consiste à mesurer une variation ; qualifier implique de répondre aux questions suivantes : Existe-t-elle (oui, non, peut-être) ? Correspond-elle à la physiologie connue d'un réflexe postural ou de la mécanique d'une articulation ou d'un groupe d'articulations ?

Un test est dit répétable lorsque, pratiqué dans les mêmes conditions, il donne toujours la même réponse. Lorsque ce n'est pas le cas, des études spécifiques peuvent préciser son pourcentage de répétabilité, qui permet à l'utilisateur de connaître l'erreur qu'il doit considérer avant d'interpréter des résultats. En tenant compte de son pourcentage, la répétabilité d'un test est dite « isolée » s'il est constaté que son résultat reste le même pour un opérateur, mais diffère d'un opérateur à l'autre. Lorsque son résultat reste le même quel que soit l'opérateur, il est dit à « répétabilité partagée ».

Les tests qui vont être présentés ici ont été validés par des recherches cliniques menées depuis des décennies ; certains sont nouveaux. Pratiqués par de nombreux

thérapeutes, certains tests non validés seront aussi proposés : leur utilisation nécessite de grandes précautions quant à leur mise en œuvre et leur interprétation.

6.1. Les conditions d'étude

Répondant aux stimuli des exo et endo-capteurs, le tonus, labile, adapte sa réponse aux modifications des situations ; c'est son rôle. Il existe un délai d'attente entre la mise en place d'un stimulus et la réponse tonique observable. Ce délai, variable selon les situations et les individus, est estimé à 30 secondes au maximum [2] et à 20 secondes dans 95 % des cas [3]. Cela signifie qu'il faut attendre au moins 20 secondes après la fermeture des yeux, le chaussage de verres correcteurs, l'intercuspidation, ou la pose d'un élément intra-buccal ou d'un élément podal, pour être sûr que le SPA ait pris en compte cette modification. En cas de doute, il faut attendre dix secondes supplémentaires.

Cette réactivité tonique nécessite également, pour l'observer, de contrôler un maximum de conditions : l'environnement, la position de départ du patient et du thérapeute, le fait de ne faire varier qu'une condition à la fois et une seule, pour enfin comparer les résultats, avant et après, les deux situations.

L'examen clinique rend difficilement compte de la capacité des différentes structures neurologiques impliquées dans le contrôle postural à intégrer les informations afférentes (voir chapitre 12.1). La stabilométrie le peut : c'est le cas du sujet qui, au fur et à mesure que lui sont supprimées ses informations, voit sa stabilité s'améliorer. Afin de ne pas commettre d'erreur dans l'orientation thérapeutique, cette notion, même floue pour certains, est essentielle à considérer.

Le SPA se comporte comme un système dynamique non linéaire (voir chapitres 1.3 et 13), ce qui signifie que son état à l'instant t dépend de l'instant $t-1$, $t-2$, $t-3$, etc. Afin d'éviter les erreurs, il apparaît essentiel de toujours, sur un même patient, dérouler l'examen dans le même ordre : interrogatoire, test 1, test 2, test 3, etc., manipulations des entrées et contre-tests 1, 2, 3, etc.

De plus, moins le sujet est touché par un thérapeute, plus l'observation est fiable, *a priori*. Il est donc recommandé de commencer par la stabilométrie, si elle est utilisée, pour continuer par le test de piétinement, puis la verticale de Barré qui ne nécessite que de petits tracés au crayon sur les épineuses, avant de passer aux tests qui impliquent un contact franc avec la peau du sujet.

Toutes modifications apportées dans l'ordre des tests, pour s'adapter à la fatigabilité d'un sujet par exemple, doivent être notées et reprises de la même façon lors de l'examen suivant (voir chapitres 1.3 et 13).

Pour ces raisons et afin d'éviter les erreurs commises par le praticien, pendant l'examen clinique, dans l'exécution et l'interprétation des tests, patient et thérapeute doivent se comporter toujours de la même façon, un peu mécaniquement, comme des machines. Les explications et consignes sont données sur un même ton, en utilisant les mêmes phrases, les mêmes gestes, sans penser à ce que l'on voudrait obtenir, mais à ce que l'on fait ; le patient, lui, se contente d'exécuter.

Dans le même but, il ne faut pas expliquer les résultats immédiatement ou les interpréter ; cela sera fait, si nécessaire, à la fin de l'examen. Toutes les précautions, prises pour diminuer les erreurs, seront énoncées en amont, après l'interrogatoire : « Nous allons observer un système automatique ; vous et moi allons agir de façon automatique, sans se demander si le résultat est bon ou pas ».

Pratiquer un test nécessite également l'absence de contre-indications douloureuses ou médicales. Il faut bien le dominer, l'expliquer, en faire la démonstration et vérifier qu'il a bien été compris. Le patient doit être placé dans une position contrôlée :

- debout, assis ou couché, il est immobile et décontracté ;
- ses bras pendent le long du corps ;
- il regarde une cible, droit devant lui, toujours à la même distance ;
- sa mâchoire est en posture mandibulaire habituelle : bouche fermée, lèvres au contact, dents ne se touchant pas [1] ;
- si le test est pratiqué debout, ses pieds sont toujours dans la même position de départ ;
- les mêmes conditions environnementales sont respectées.

Le sujet se présente avec ses orthèses en place qui, dans le but d'observer une modification tonique, seront ôtées les unes après les autres.

Chaque test, quel qu'il soit, présente des pièges tendus par le patient comme par le thérapeute lui-même : le sujet ouvre ses yeux lors du test de piétinement, le praticien tourne la tête ou le regard alors qu'il pratique le test des rotateurs ou de convergence podale, le sujet n'a pas les pieds parallèles lors de la recherche de l'harmonie pelvi-pédieuse, etc. Il convient de connaître parfaitement les différents pièges et de les avoir pratiqués de nombreuses fois avant d'être sûr des variations constatées.

- ▷ L'ensemble des précautions proposées n'élimine pas la totalité des erreurs possibles, mais en diminue notablement les risques et les biais.

Seule la standardisation de chacun des tests et épreuves peut permettre un raisonnement rigoureux. Cette méthodologie, qui s'appuie sur la physiologie articulaire et des statistiques (normes et valeurs de référence, voir chapitre 11.2), semble être la seule à pouvoir, pour le moment, valider notre démarche diagnostique.

Afin de valider les observations recueillies, cette rigueur s'est imposée à la posturologie comme une nécessité, lors des décennies de recherche clinique, pour l'élaboration de l'examen clinique postural [1].

6.2. La validation

Déterminer si un patient présente une asymétrie tonique et comment la modifier nécessite pour nombre de posturologues, rodés à l'examen postural, l'utilisation de trois tests au moins ; deux déterminent sa présence, et un autre la

mesure permettant de comparer les résultats aux valeurs de référence à sa disposition. Lorsque chacun des trois tests revient dans les valeurs normales ou si la physiologie articulaire est de nouveau respectée, soit après la mise en place d'un stimulus par orthèse plantaire, mandibulaire, visuelle, soit après un traitement rééducatif ou manuel, il est possible de considérer que l'état tonique d'un patient est amélioré. Ce résultat est à corroborer avec les plaintes du patient (voir chapitre 11.1).

Dans le doute, il ne faut pas hésiter à multiplier les tests. En outre, il peut arriver, quelle qu'en soit la raison, qu'un des trois tests choisis, qualitatif ou quantitatif, s'avère inutilisable ; il est donc nécessaire pour le posturologue d'en dominer parfaitement plusieurs autres.

La validation est obtenue en comparant le sujet à lui-même, aux données physiologiques, et, lorsqu'elles existent, aux valeurs de référence (voir chapitre 11.2). En leurs absences, il est indispensable de s'assurer que les variations constatées lors d'un traitement manuel ou la pose d'une orthèse, plantaire, mandibulaire ou visuelle, sont cohérentes avec l'amélioration ou l'aggravation décrite par le patient (voir chapitre 11.1).

Bibliographie

1. Gagey PM, Weber B. Posturologie, Régulation et dérèglements de la station debout. Masson; 2003. p. 221-31.
2. Ivanenko YP, Grasso R, Lacquaniti F. Effect of gaze on postural responses to neck proprioceptive and vestibular stimulation in humans. *J. Physiol.* 1999;519:301-14.
3. Scheibel A, Weber B. L'intégralité de la procédure de Meersman est-elle nécessaire à l'examen clinique de l'articulation mandibulaire ? In: Lacour M, editor. *Nouveautés conceptuelles et instrumentales et cliniques*. Marseille: Solal; 2001.

CHAPITRE 7

Tests statiques

7.1. La verticale de Barré

Alain Scheibel

Longtemps considérée comme désuète et difficile à mettre en œuvre, la verticale de Barré retrouve son intérêt grâce à l'apport de technologies modernes qui facilitent l'observation de la position des différents repères anatomiques décrits par Barré. Ce test, très stable dans le temps, a pour but d'évaluer et/ou quantifier les asymétries du corps dans les trois plans de l'espace. Son utilisation sur une population de 1394 enfants, âgés de 7 à 18 ans [1-3] nous permet de comparer un sujet à des valeurs de référence [4,5] et ainsi de suivre l'évolution d'un patient.

Procédure

Au préalable, sont tracés sur le sujet, au crayon dermographique, des repères cutanés fiables, en regard des apophyses épineuses de L4 et C7, latéralement au milieu de la hanche et de l'épaule, ainsi qu'à un et deux centimètres horizontalement, de part et d'autre de ces quatre repères.

Les pieds sont positionnés sur un gabarit podal (figure 7.1) qui les place **toujours dans la même position**, ouverts à 30°, les talons séparés de 2 cm environ ; une cale en bois, perpendiculaire au plan sagittal du sujet, les bloque en arrière.

Deux verticales sont placées en fonction du test réalisé (de dos ou de profil). Ce dispositif rigoureux permet d'observer le sujet, non dans sa position naturelle qui peut être variable, mais dans la position qu'il adapte à cette situation, arbitraire et répétable.

Les verticales au sujet, postérieure et latérales, telles que décrites ci-après, peuvent être remplacées par des « niveaux laser, auto équilibrés ». À condition d'être placés, au départ, dans le plan sagittal ou frontal, passant par les apophyses des 5^e métatarsiens, ils projettent directement sur le sujet des traits verticaux. La mesure directe de la position des repères est alors aisément effectuée et

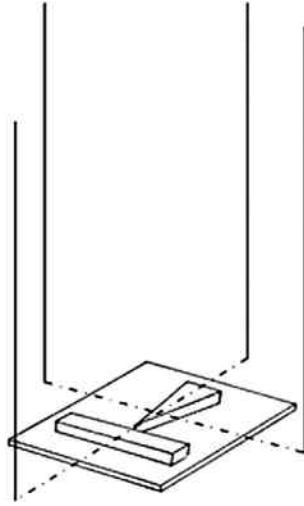


FIGURE 7.1. Gabarit podal avec l'axe sagittal et, en avant et arrière du sujet, les verticales passant par le plan de Barré, et avec le plan frontal et les verticales passant par les apophyses des 5^e métatarsiens.

évite à l'observateur d'avoir à maintenir son œil directeur dans le plan de Barré. Cependant, il convient de s'assurer au préalable que la projection du faisceau laser sur la peau ne présente pas de risque pour le sujet.

Afin de limiter les aléas, et quelles que soient les mesures envisagées, il est demandé au sujet d'être détendu, les bras pendant le long du corps, la bouche fermée, les dents qui ne se touchent pas.

La verticale de Barré de dos (figure 7.2)

Deux verticales sont placées : l'une en avant, l'autre en arrière du gabarit, dans son axe sagittal (figure 7.1). Elles déterminent le plan sagittal, médian, intermalléolaire de Barré [8]. Afin de servir de cible visuelle, la verticale placée en avant se trouve entre 40 et 90 cm du sujet [6,7].

À quelques mètres derrière le sujet, le praticien, de son œil directeur – afin d'éliminer les erreurs de parallaxe – aligne les deux verticales. Il repère la position moyenne des épineuses de L4 et de C7 par rapport au plan de Barré.

La verticale de Barré de profil (figure 7.3)

Latéralement, à droite et à gauche, sont placées deux verticales, dans le plan frontal du sujet, passant par les bords postérieurs des apophyses des 5^e métatarsiens. Normalement, lorsque le regard remonte, cette verticale passe par le milieu de la hanche, de l'épaule ; le tragus est, lui, à un à deux centimètres en avant. Dans les cas contraires, le praticien note de combien, en avant ou en arrière, chaque repère est éloigné de la verticale.

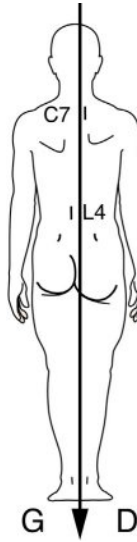


FIGURE 7.2. Ici, l'épineuse de L4 se situe à 2 cm à gauche du plan sagittal et celle de C7 à 0,5 cm à droite.

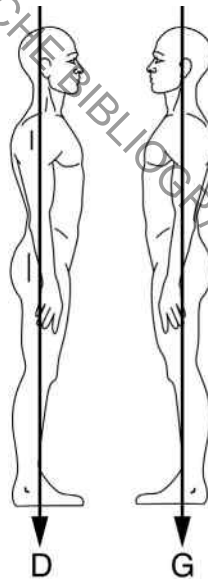


FIGURE 7.3. Ici, le milieu de la hanche droite est à 2 cm en arrière de la verticale, l'épaule droite à 1.5cm en arrière. Hanche et épaule gauche sont centrées sur la verticale de gravité.

La rotation des ceintures (figure 7.4)

Afin de quantifier la rotation pelvienne, le praticien, situé derrière le sujet, pose délicatement une des branches d'un goniomètre sur la partie la plus postérieure des masses fessières, l'autre branche étant alignée sur le grand axe de la cale

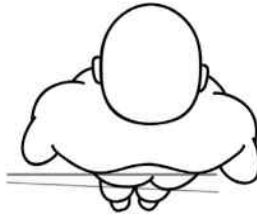


FIGURE 7.4. Ici, la ceinture pelvienne pivote de 5° sur la droite et la scapulaire de 0°.

postérieure bloquant les talons. De la même façon, la rotation de la ceinture scapulaire est mesurée en posant une des branches du goniomètre sur les omoplates en regard de leur épine, la seconde étant placée comme dans le premier cas.

- ▷ La verticale de profil et la rotation des ceintures semblent être redondantes, mais doivent être conservées tant que des travaux ne l'ont pas confirmé.

Notation

La précision de la mesure est telle que les valeurs ne doivent pas être exprimées en dessous du demi-centimètre pour les repères cutanés selon la distance qui les sépare des plans frontal et sagittal, et en dessous de 2,5° pour les rotations, gauche ou droite, en fonction du côté vers lequel se déplace le nombril.

- ▷ **Valeurs de référence** : les données statistiques recueillies par différentes études sont présentées en annexes.

Interprétation

Suite aux constats cliniques de P. Guillaume [9], deux travaux [10,11] ont montré qu'il est possible d'interpréter les déviations d'un sujet dans le plan frontal et d'orienter le choix du thérapeute vers l'entrée à stimuler afin de modifier l'état tonique du sujet.

Tous les patients ont été recrutés par deux tests cliniques. Ils objectivaient la possibilité de manipuler le SPA par une ou plusieurs entrées. Dans le premier travail, 158 des 191 patients retenus présentaient une entrée podale exclusive, soit 82,7 %, et, de fait, une désaxation isolée de L3.

Dans la seconde cohorte de 101 patients :

- 94,3 % de ceux qui pouvaient être manipulés par leurs entrées plantaire, visuelle et occlusale, présentaient de fait des déviations cervicale et lombaire, les autres présentant une déviation lombaire seule ;
- 75,8 % présentaient des entrées plantaire et occlusale possibles, une déviation des lombaires et cervicales ; 19,7 % avaient une déviation unique des cervicales et 4,5 % des lombaires seules.

En résumé, une déviation basse, de L3, aurait plutôt pour origine un problème venant des membres inférieurs ; une déviation haute aurait, quant à elle, une origine au-dessus de T4.

Conclusion

L'ensemble des données apportées par cet examen est riche de par la stabilité, constatée cliniquement, des mesures dans le temps. Il permet de tracer une véritable cartographie en trois dimensions des repères osseux d'un sujet. Obtenues sur une population d'enfants âgés de 7 à 18 ans, les valeurs de référence (cf. annexes) permettent de suivre l'évolution de l'enfant, de l'adolescent, du sportif et du patient, qu'il soit simplement douloureux ou qu'il présente des troubles rachidiens, tels que cyphoses, scolioses et attitudes scoliotiques.

Ce test fiable, à répétabilité isolée et partagée, permet de quantifier sur l'instant les déviations de l'axe corporel, d'entrevoir par quelle(s) entrée(s) du SPA il est possible de faire varier le tonus et, enfin, de vérifier l'efficacité d'un stimulus postural.

7.2. L'angle tibio-tarsien

Sylvie Legendre-Batier

Les rapports biomécaniques et fonctionnels existant entre pied et jambe dans le comportement du membre inférieur sont bien étudiés : en statique par P.M. Gagey [12-14] et en dynamique par P. Bessou [15-18]. Par ailleurs, le recueil systématique de la latéralité fonctionnelle met en évidence un rapport incontestable entre la latéralité podale et la latéralité oculaire (voir chapitre 3.3). La part du pied proprement dit et celle des éléments de l'entrée visuelle, voire plus généralement de la sphère trigéminal, y sont pourtant imprécises. Or, la clinique rencontre des situations qui suggèrent l'existence de tels rapports. La mesure de l'angle tibio-tarsien, simple et rapide, constitue un outil clinique qui a permis de répondre à certaines de ces interrogations [19] ; elle offre une possibilité de mesure certainement sous-estimée.

Procédure

L'angle tibio-tarsien est défini comme l'angle existant entre l'axe sagittal du pied et celui que déterminent les deux malléoles tibiales sur l'empreinte du pied d'un sujet au repos en stabilité posturale (*quiet standing*). L'axe du pied est classiquement tracé sur son empreinte par la ligne qui joint le milieu du

second orteil au milieu du talon, soit la verticale de l'axe du tendon d'Achille (et non de l'arrière de l'empreinte du pied). L'axe tibial transversal joint les extrémités inférieures des malléoles tibiale et péronière ; en pratique, il est tracé sur l'empreinte du pied à la verticale de chacune d'elle.

Cet angle obtus, ouvert en avant et en dehors, est classiquement de l'ordre de $102 \pm 5^\circ$. Pour être exprimée par des chiffres simples, sa valeur est obtenue en soustrayant 90° à la valeur mesurée ; par exemple, l'angle mesuré 97° est noté 7° (figure 7.5).

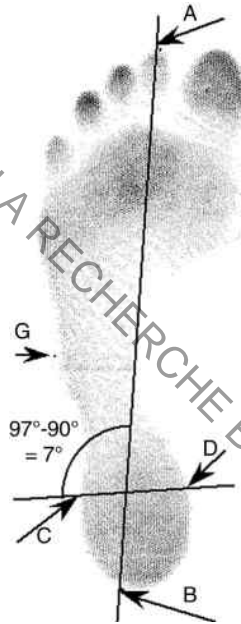


FIGURE 7.5. Empreinte plantaire et ses repères.

L'axe sagittal du pied, AB, va du milieu du deuxième orteil au milieu du talon, à l'aplomb du tendon d'Achille (et non au milieu de l'empreinte du talon) ; l'axe bimalléolaire, CD, est tracé d'un aplomb à l'autre du milieu des malléoles. G est la tête de l'apophyse styloïde du cinquième métatarsien. L'angle tibio-tarsien (alpha) est déterminé par l'axe sagittal du pied et l'axe bimalléolaire.

Résultats

Sujets sans trouble postural

Enregistré alternativement sur 13 sujets sans manifestation posturale par deux podologues, à cinq minutes d'intervalle, et mesuré par celle qui n'a pas pratiqué l'empreinte, l'angle tibio-tarsien moyen gauche mesure $5,2 \pm 4,4^\circ$, le droit $5,9 \pm 6,3^\circ$. Les valeurs mesurées par chacun des observateurs sur ces 13 sujets et aux quatre temps ne sont pas significativement différentes au test-t de Student ; la valeur moyenne cumule les chiffres de ces 66 mesures. Ces valeurs sont stables dans le temps (tableau 7.1).

TABEAU 7.1. Valeurs moyennes de l'angle tibio-tarsien mesuré sur un groupe de 13 sujets sans manifestation posturale à quatre temps (sur les 13 sujets du départ, 6 ont été remesurés à 8 et 15 jours, et 8 seulement à plus d'un mois).

Angle tibio-tarsien	n =	Initial	À 8 jours	À 15 jours	n =	> Un mois
Gauche	6	4,3 ± 2,8	4,2 ± 3,8	4,7 ± 3,0		
Droit		6,1 ± 1,7	4,7 ± 1,5	4,6 ± 2,5		
Gauche	7	5,3 ± 1,0			8	6,6 ± 1,6
Droit		5,8 ± 1,3				5,8 ± 1,2
Total	13					

Les différences entre colonnes ou lignes de chacun des sous-groupes ne sont pas significatives (t de Student en valeurs appariées). Sur les 13 sujets du départ, seuls 8 ont été remesurés à plus d'un mois.

Sujets présentant des douleurs de l'axe corporel, sans facteur déclenchant apparent, ni vertige

L'examen clinique de 21 sujets, qui présentaient soit une sciatalgie, soit une gonalgie, soit une douleur de cheville ou de pied, uni ou bilatérale, n'avait permis de trouver aucune indication de traitement podologique, mais laissait soupçonner des perturbations de la sphère orale. La dentiste consultée a confirmé un défaut d'occlusion qui a été corrigé. Les valeurs moyennes inhabituellement élevées de l'angle tibio-tarsien mesuré avant cette correction ont diminué ; celle du pied droit significativement (tableau 7.2).

TABEAU 7.2. Valeurs moyennes, en degrés, de l'angle tibio-tarsien chez 21 sujets se plaignant de douleurs de l'axe et présentant un défaut d'occlusion, avant et après correction de ce défaut.

Douleur	Pied gauche			Pied droit		
	Avant	Après	Student	Avant	Après	Student
À droite	10 ± 2,5	7,8 ± 2,7	NS	10,5 ± 2,6	7,5 ± 1,4	NS
Bilatérale	8,8 ± 1,9	8,7 ± 2	NS	10,1 ± 2,3	5,9 ± 1,4	p < 0,025
À gauche	9,5 ± 1,3	8,0 ± 1,4	NS	10,7 ± 2,3	6,5 ± 1,2	NS

Étude multicentrique de sujets posturalement normaux

Une autre étude inédite [20] porte sur 18 sujets – 10 femmes, 8 hommes (âge 38 ans ± 17 ans) – de trois cabinets de podologie. Les patients ne présentent pas de douleur exprimée à l'interrogatoire, la stabilométrie est normale [21], ils ne présentent pas de déviation de C7 et L4 à la verticale de Barré et leur cinétique rachidienne est globalement intègre au test posturo-dynamique ; ces caractéristiques

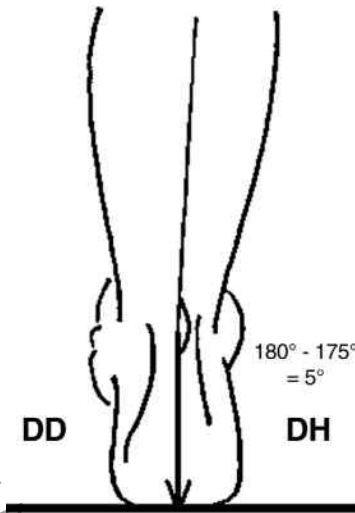


FIGURE 7.6. Mesure du Valgus de l'arrière-pied.

sont les conditions de leur inclusion dans ce travail. Tous ces sujets sont droitiers de la main et il a été tenu compte du côté du pied dominant.

Conditions de mesure

La mesure de l'angle tibio-tarsien est effectuée comme ci-dessus définie et dans les mêmes conditions. Cette mesure a été associée à celle du valgus : le sujet est debout, pieds nus sur le podoscope, dans une position de confort (figure 7.6). La mesure est effectuée 30 secondes après que le sujet soit stabilisé dans cette position. Le goniomètre est placé en arrière du talon et le zéro centré sur le milieu de celui-ci. La mesure est prise en positionnant la tige du zéro au milieu du tendon d'Achille.

Les statistiques sont calculées en deux temps :

- **premier temps** : afin d'évaluer la corrélation (Pearson) possible entre valgus et angle tibio-tarsien (α), sont pratiquées toutes les corrélations possibles entre ces deux items et leur côté droit ou gauche ;
- **second temps** : les moyennes, les écarts types et les valeurs extrêmes de l'angle α et du valgus de chaque pied sont calculés. Après avoir pris un risque de première espèce à $p < 0,05$, l'opération est renouvelée sur les 13 sujets restants.

Résultats

Qu'il soit homo ou ipsilatéral, l'angle tibio-tarsien apparaît comme indépendant du valgus de l'arrière-pied (tableau 7.3) sur l'échantillon total ou après avoir supprimé le risque de première espèce.

TABLEAU 7.3. Corrélations des angles alpha, droit et gauche, des valgus droit et gauche et angles alpha et valgus droit et gauche.

Échantillon total	Valeur
Pearson corrélations	
Alpha et valgus gauche	-0,21
Alpha et valgus droit	-0,32
Alpha droit et gauche	0,70
Valgus droit et gauche	0,56
Risque de 1 ^{re} espèce	
Alpha et valgus gauche	-0,13
Alpha et valgus droit	0,07
Alpha droit et gauche	0,47
Valgus droit et gauche	0,57

Que ce soit sur l'échantillon complet ou après avoir supprimé le risque de première espèce, aucune corrélation significative n'apparaît entre ces différents items.

Synthèse des valeurs de référence de l'angle tibio-tarsien et du valgus de l'arrière pied (tableau 7.4)

TABLEAU 7.4. Valeur moyenne de l'angle tibio-tarsien et du valgus de l'arrière-pied (mesurée au goniomètre) après élimination du risque de première espèce chez 13 sujets indemnes de symptomatologie posturale.

Angle tibio-tarsien gauche	Angle tibio-tarsien droit	Valgus gauche	Valgus droit
3,76° ± 4,11	3,77° ± 4,5	4,56° ± 3,59	4,47° ± 3,42

La différence de valeur de l'angle tibio-tarsien existant entre pied droit et pied gauche n'est pas significative. Le risque de première espèce supprimé, l'angle tibio-tarsien est de 4° ± 4° ; le valgus, lui, est de 5° ± 4°.

Discussion

Classiquement, il est admis que l'homme debout se comporte comme un pendule inversé qui oscille autour de ses chevilles (tactique de cheville). Le clinicien va devoir envisager la position de cette cheville pour analyser la posture du sujet. Le maintien de la station debout nécessite l'existence d'un feedback stabilisateur permanent du muscle soléaire qui va contrôler l'inclinaison antérieure du segment jambier par la force de pesanteur, en alternant des contractions excentrique et concentrique de faibles amplitudes [22]. Léonard de Vinci a probablement été le premier à présenter les muscles de la cheville comme les hau-bans d'un mât de navire. Au niveau fonctionnel, la cheville présente un double rôle : de charnière entre le pied et la jambe et de répartitions des contraintes transmises vers l'avant et l'arrière-pied.

La première étude permet de constater que cette mesure de l'angle tibio-tarsien est stable dans le temps et d'un opérateur à l'autre, en dehors de tout traumatisme ou modification entre deux mesures. Les praticiens intervenant n'ont rencontré aucune difficulté pour la prise des repères. Ce travail, réalisé sur 13 sujets sans manifestation posturale, par deux podologues, à cinq minutes d'intervalle, donne une mesure de l'angle tibio-tarsien moyen gauche de $5,2 \pm 4,4^\circ$, et droit de $5,9 \pm 6,3^\circ$. Les valeurs mesurées par chacun des observateurs sur ces 13 sujets, au temps 0, 8 jours, 15 jours et supérieur à 1 mois, ne sont pas significativement différentes au t de Student.

Une deuxième étude sur des sujets présentant des douleurs et une dysfonction mandibulaire montre tout l'intérêt de cette mesure qui va permettre d'objectiver une modification de l'angle tibio-tarsien après intervention du dentiste et de suivre l'évolution du traitement mis en place. La relation observée entre dysfonction cranio-mandibulaire et angle tibio-tarsien semble mesurable et permet de mieux comprendre les déclarations de certains athlètes victimes d'entorses relatant l'amélioration de leurs performances après modification d'un défaut d'occlusion, comme l'avaient observé Baron [23] et Meyer [24] ; amélioration qui leur paraissait pouvoir provenir d'une meilleure stabilité de l'articulation tibio-tarsien.

Le protocole de la première étude ne comportant aucune mesure de l'angle du valgus [19], il était nécessaire de réaliser une troisième étude dans laquelle les valeurs angulaires se situent dans les marges physiologiques classiques (5°). Dans ces conditions, la valeur de l'angle tibio-tarsien chez un sujet sans manifestation posturale peut être estimée entre 4 et $4,5^\circ \pm 1^\circ$ pour un angle de valgus physiologique. Ces valeurs sont d'autant plus importantes qu'il n'existe pas de corrélation entre l'angle tibio-tarsien et le valgus, qu'il soit homo ou ipsilatéral. Ces résultats sont à rapprocher de la description de l'harmonie pelvi-pédieuse qui nous enseigne, par exemple, qu'un valgus calcaneen s'accompagne d'une rotation interne de jambe et de cuisse. L'angle tibio-tarsien mesurant la position de la jambe par rapport à l'axe du pied, nous pouvons envisager que, lorsque le calcaneum est en position valgusante (supérieure à 5°), l'angle tibio-tarsien est inférieur à sa position physiologique ; cette hypothèse ne semble pas vérifiée.

Ces études ont montré que cette valeur est stable dans le temps chez un sujet sans trouble clinique de la régulation posturale, qu'elle est augmentée lors de certains de ses dysfonctionnements et que cette mesure de l'angle alpha est indépendante de l'angle du valgus.

Conclusion

L'angle tibio-tarsien est une donnée anthropométrique précise et stable dont les anomalies peuvent être en rapport avec des problèmes posturaux. Cette mesure mérite d'être systématiquement prise au cours de l'examen clinique postural à double fin : attirer l'attention sur l'existence d'une dysfonction posturale d'une part, suivre les effets de son traitement d'autre part. Les résultats de ces études

mériteraient une exploration plus étendue de ses modifications de l'angle alpha dans les douleurs de l'axe et le défaut d'aplomb.

7.3. Le test de la résistance du long fléchisseur de l'hallux

Serge Helbert

La biomécanique du long fléchisseur de l'hallux (LFH), fléchisseur propre du gros orteil, permet de soupçonner son importance dans l'aplomb et la marche ; l'expérience clinique des podologues le confirme (figure 7.7). Le test de résistance montre, chez les porteurs d'hallux valgus (HV), l'importance de la déformation de leur premier rayon sur l'effet de la force propre du muscle (figure 7.8).

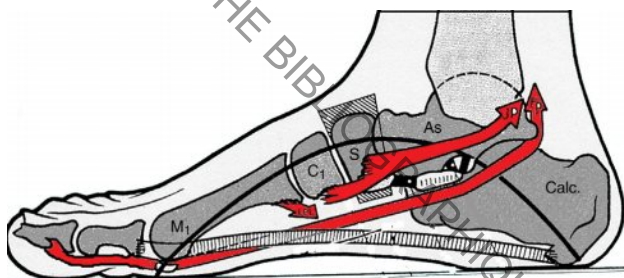


FIGURE 7.7. Trajet podal du long fléchisseur de l'hallux (d'après Kapandji).

Test de résistance du gros orteil

Une possibilité pour évaluer cliniquement la force du LFH est d'installer le patient en position assise, sans appui contre un dossier, le bassin antéversé afin de placer la colonne lombaire en légère lordose. Les pieds nus, parallèles, sont posés à plat sur un sol dur, hanches et genoux à 90° de flexion ; enfin, les genoux se touchent. Le sujet regarde droit devant lui, en posture mandibulaire de repos. Le clinicien, après avoir placé son index entre le sol et la pulpe de la deuxième phalange du gros orteil du patient, lui demande d'écraser au maximum son index avec cet orteil, sans décoller le talon.

Selon Gumina et Postacchini [25], pour les hallux normaux et les HV modérés, un clinicien entraîné est capable d'évaluer la force de cette phalange du gros orteil

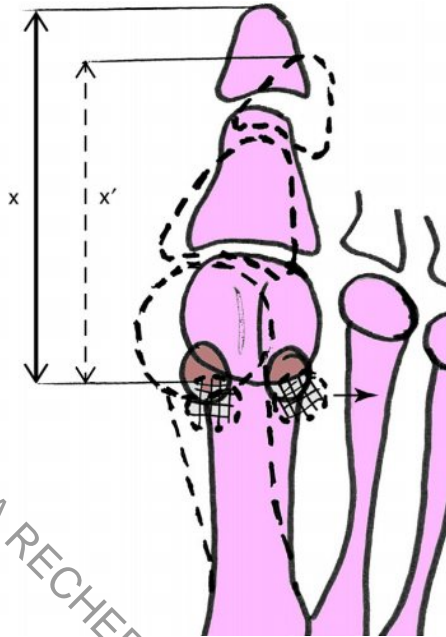


FIGURE 7.8. Différence entre un 1^{er} orteil normal (en traits pleins) et un HV (en pointillés).

Le HV diminue le bras de levier du LFH ($x > x'$).

aussi précisément qu'un dynamomètre, à 100 grammes près. Une longue expérience de ce test et de nombreux essais nous permettent de confirmer cette affirmation.

Test de résistance du gros orteil et hallux valgus

La stabilométrie confirme la particularité de patients porteurs d'HV : yeux ouverts, la position moyenne en Y du centre de pression recule de 1,5 mm en moyenne. La comparaison entre les normes 85 et les sujets porteurs d'HV est, en dehors du X moyen, statistiquement significative pour l'ensemble des paramètres stabilométriques (ANOVA : $p < 0,001$) [26].

Alors qu'au cours d'essais de l'HV sur plate-forme, il y a un recul du CdP, au cours d'essais pieds nus ou chaussés, dans des gabarits à empreinte dont la hauteur du talon est de 4 cm, la position du centre de pression (CdP) ne recule pas [26,27].

Ces résultats corroborent l'interprétation biomécanique de l'HV : lors de l'appui sur l'hallux, le bras de levier de l'hallux valgus étant réduit, la force d'appui du LFH est moindre, de même que la force résistante, la voûte plantaire s'effondre, augmentant l'angle de divergence talo/crural qui aura pour conséquence une rotation médiale du tibia et la surcharge de l'avant-pied.

Lorsque le talon est au sol, les muscles fléchisseurs des orteils permettent de freiner et/ou d'accélérer le passage du pas. Le LFH, en particulier, le plus volumineux des muscles profonds de la région jambière postérieure, par son insertion sur la base de la dernière phalange du gros orteil, est doté du plus

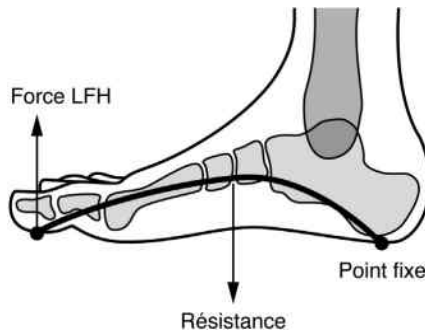


FIGURE 7.9. Arche interne du pied, levier du deuxième genre, inter-résistant.

L'arche interne du pied représente mécaniquement un levier du deuxième genre inter-résistant : son pivot est au niveau de la tubérosité du calcaneum. La force est appliquée par le long fléchisseur de l'hallux (LFH) au niveau de la dernière phalange du gros orteil ; la verticale de gravité se situe à la hauteur du bord postérieur de la styloïde du cinquième métatarsien. Ce recul du centre de gravité réduit le couple qui tend à faire chuter le sujet en avant du fait de la position antérieure du centre de gravité par rapport à l'axe de la tibio-tarsienne ; il réduit donc aussi le couple, égal et de sens opposé, qui s'oppose à la chute du sujet en avant et qui est dû à la tension des muscles de la loge postérieure de la jambe. Le jeu de ces forces se traduit en stabilométrie par une augmentation de la variance de la vitesse de déplacement du centre de pression lorsque le centre de pression recule [29].

grand des bras du levier inter-résistant que présente le pied (figure 7.9) ; sa force est notablement réduite chez les porteurs d'un hallux valgus [28].

La mise en place d'orthèses, sous la forme, le plus souvent, d'un élément de 2 mm de hauteur placé en dessous de la tête du premier métatarsien, modifie significativement deux des paramètres stabilométriques (voir chapitre 12.1) – et eux seuls –, les plus liés à la force du LFH : le Y-moyen et le VfY ($p < 0,01$) [29] du CdP. Dans l'hallux valgus, tout se passe comme si, faute de pouvoir produire une pression suffisamment forte à l'extrémité antérieure du bras de levier inter-résistant de l'arche interne du pied, le système postural d'aplomb était forcé de s'adapter en reculant le centre de pression du sujet [30].

L'hallux valgus est fréquemment associé à des rachialgies cervicales [31]. Au cours de la marche, les ceintures scapulaire et pelvienne décrivent chacune une rotation opposée, maximale en phase terminale, propulsive du pas. Ce passage implique le gros orteil et principalement le LFH qui participe, du fait de son insertion sur la fibula, à la stabilité de la sacro-iliaque par l'intermédiaire du biceps fémoral [32]. Lors de la marche, l'iliaque va réaliser une succession de mouvements qui vont de la position postérieure lors de l'attaque du pas, puis neutre en phase d'appui pendulaire pour finir en antérieure lors de la phase propulsive du pas.

Ainsi, la balistique du mouvement de l'iliaque est sous la dépendance de la mobilité de la fibula, relai entre l'avant-pied par le LFH et de l'iliaque par le biceps fémoral. L'appui terminal du gros orteil est ainsi synchrone d'une rotation homolatérale de la tête par rotation opposée de la ceinture scapulaire.

En présence de pathologies, comme l'hallux valgus ou rigidus, un premier rayon plus court que le deuxième, le déficit d'appui de la phase terminale propulsive

du pas [33], s'accompagne d'une pronation de l'avant-pied et d'une rotation médiane du membre inférieur qui sera compensé par un renforcement de l'action des muscles rotateurs externes de la hanche et principalement le muscle piriforme. L'augmentation de sa participation dans la stabilité pelvienne aura une répercussion sur la mobilité du sacrum/iliaque, du fait de son insertion antérieure sur le sacrum, modifiant ainsi la cinématique de la ceinture lombo-pelvienne et par le jeu des croisements des ceintures, celle de la cinématique de la ceinture scapulaire, et donc celle de la rotation cervicale. Cet ensemble de rotations autour de l'axe vertical du corps participe à la stabilité du centre de gravité lors de la marche.

Cette interprétation est compatible avec les données cliniques du « test de résistance du gros orteil » et avec la stabilométrie de ces sujets : le port d'orthèses adaptées améliore, le plus souvent, les symptômes locaux, les tensions nucales et scapulaires exprimées spontanément par les patients ou lors de l'interrogatoire.

7.4. Maddox, hétérophorie verticale

Éric Matheron

Les deux images provenant de chacun des yeux, leurs légères différences ou « disparités » et leur fusion au niveau du cortex visuel sont nécessaires et définissent la vision binoculaire. La vision stéréoscopique qui en résulte permet la perception du relief et de la distance. En dissociant ces deux images, l'interposition de la baguette de Maddox devant un œil apprécie l'équilibre oculomoteur et met cliniquement en évidence une orthophorie verticale (OV) ou une hétérophorie verticale (HV) ; elles correspondent respectivement à l'absence ou la présence d'une déviation latente de l'axe visuel vers le haut ou vers le bas.

Phories verticales

Cette déviation latente, HV, quand elle existe en dissociant les images rétinienne, est annulée en vision binoculaire. L'HV était classiquement considérée comme physiologique lorsqu'elle était inférieure à une dioptrie ($< 0,57^\circ$) [34]. Des données plus récentes laissent supposer que, en l'absence de troubles neurologiques, vestibulaires ou visuels, l'HV pourrait indiquer l'existence de conflits sensoriels somesthésiques ou une intégration neurologique centrale non optimale de ces signaux affectant le contrôle postural ; ces conflits pourraient induire des douleurs, conduire à des douleurs chroniques non spécifiques (DCNS) [35-37], comme le suggèrent les travaux de McCabe et al. [52,53].

Des études cliniques signalent en effet que des HV semblent être en rapport avec des dysfonctions : crânio-mandibulaires (en particulier au niveau des articulations temporo-mandibulaires), de l'occlusion dentaire, de l'oropharynx et/ou de la déglutition, du bassin, des soles plantaires [40]. On retrouve aussi des HV

dans certains défauts de réfraction ou en relation avec des corrections optiques mal adaptées [41-43] ou accompagnant certains piercings [37]. L'annulation de l'un ou l'autre de ces conflits restitue généralement l'orthophorie (OV) qui, en cas de DCNS, s'accompagne d'une diminution significative de l'intensité des douleurs [37,44,45]. La normalisation de tests cliniques qualitatifs de stabilité, de mobilité articulaire, rachidienne et périphérique initialement perturbés est également rapportée [44-46], mais reste à évaluer précisément.

Test de Maddox

Le test de Maddox, test subjectif développé par les ophtalmologistes dans les années 1900 [42], consiste à dissocier les deux images rétinienne et à vérifier leur coïncidence grâce à la baguette de Maddox. Elle est formée d'une série d'hémi-cylindres transparents rouges placés en parallèle ; un œil visant à travers elle un point lumineux le perçoit comme une ligne perpendiculaire à la direction des hémi-cylindres ; en orthophorie, l'autre œil le voit à la même hauteur ; un décalage supérieur ou inférieur de la ligne par rapport au centre du point signe l'HV (figure 7.10).

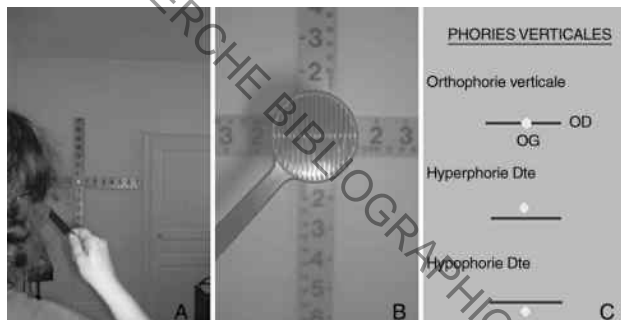


FIGURE 7.10. A. Test de Maddox : point lumineux entre 2 et 5 m. B. Baguette de Maddox. C. Phories verticales. L'orthophorie verticale (OV) correspond à la superposition centrée de la ligne sur le point lumineux. Si la ligne et le point ne le sont pas strictement, c'est-à-dire ligne vue décalée vers le haut ou vers le bas, il y a hétérophorie verticale (HV).

Le test explorerait la rétine périphérique de l'œil testé à travers la barre, celui qui voit la ligne, et la rétine centrale de l'autre œil, celui qui voit le point lumineux [47]. L'essai doit donc être pratiqué sur chaque œil, les réponses pouvant varier d'un œil à l'autre : par exemple OV à droite, HV à gauche. Le test de Maddox permettrait d'examiner la cohérence entre les voies ventrale et dorsale [40], dites voies de la perception et de l'action, prérequis de l'orientation et de la stabilisation corporelle, deux fonctions distinctes du contrôle postural [48] issues respectivement de la rétine centrale et de la rétine périphérique [40,49,50].

C'est un test de choix dans la détection d'HV minimales [51] ; elles existent pratiquement toujours chez les sujets présentant des DCNS [36,43] ; on les retrouve aussi dans certains troubles des apprentissages [52-55]. Une HV observée chez un sujet « sain » pourrait indiquer la perturbation d'informations

somesthésiques ou visuelles impactant l'efficacité motrice optimale ; le test de Maddox a été proposé à des fins préventives [35,40,56].

Procédure

À l'origine, le test est pratiqué assis [42,47], puis proposé en position de référence orthostatique en champ libre, le sujet déchaussé [40,46,57]. Ainsi debout, le sujet est à 5 m (ou au moins à 2 m) du point lumineux, c'est-à-dire sans converger. Pour être fiable, ce test sensible [51,58] doit être pratiqué en position de référence anatomique (tête droite, axe bipupillaire horizontal, regard dirigé droit devant, plan de Francfort horizontal), la cible lumineuse à hauteur des yeux, la baguette de Maddox placée devant un œil, stries verticales, ligne perçue parfaitement horizontale [44] ; une faible modification de l'orientation du regard ou de la position de la tête induit une HV physiologique [51,59,60]. Il est pratiqué alternativement sur chaque œil et après un temps de vision binoculaire normale.

Assombrir la pièce d'examen facilite la perception de la ligne. Le test doit être pratiqué avec la correction optique, s'il y a lieu, et sans, sous réserve que l'acuité visuelle, la vision simultanée des images et la compréhension du test par le sujet permettent sa réalisation. Les yeux ouverts, l'examineur place la baguette de Maddox devant un œil, stries verticales de sorte que le sujet perçoive la ligne horizontale (sinon, il masque alternativement chaque œil, ce qui favorise la perception de la ligne et du point) ; il lui demande alors s'il voit le point (œil fixateur) et si la ligne lui semble strictement centrée sur le point, décalée vers le haut ou vers le bas, au-dessus ou au-dessous. **Seule sa situation strictement centrée est considérée comme OV.**

Intérêt clinique du test de Maddox

Chez un patient présentant une HV, la restitution bilatérale de l'OV contrôlée par le test de Maddox permet de contrôler que l'aplomb – la position de référence orthostatique « neutre/naturelle » – est de nouveau obtenu. Cette restitution représente pour nous un bon critère d'efficacité de manœuvres diagnostiques et thérapeutiques, critère à croiser à d'autres tests cliniques posturaux statiques et dynamiques (voir chapitres 7 à 9).

Plusieurs des praticiens qui gèrent les manifestations du défaut d'aplomb (kinésithérapeutes, ostéopathes, chiropracteurs, et autres thérapeutes) ont maintenant intégré à leur pratique cet emploi « détourné » du test de Maddox. Leur expérience permet ce constat : la disparition de l'HV oriente la prise en charge des individus/patients.

Conclusion

Cette approche originale du test de Maddox, la simplicité du matériel nécessaire, sa sensibilité, devraient en faire un outil d'objectivation, de dépistage et de gestion des manifestations du défaut d'aplomb.

Bibliographie

La verticale de Barré

1. Bourgeois P. Éducation physique, sport et posture. In: Mesure S, Lamendin H, editors. *Posture, pratique sportive et rééducation*. Paris: Masson; 2001. p. 75–91.
2. Bourgeois P. Évolution clinique de la posture de l'enfant de 9-10 ans. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre, physiologie, techniques, pathologies*. Marseille: Solal; 2003. p. 149–50.
3. Bourgeois P. Maturation et scolarité. In: Gagey PM, Weber B, editors. *Posturologie régulation et dérèglements de la station debout*. 3^e éd Paris: Masson; 2004.
4. Gagey PM, et al. Valeurs moyennes et interprétation de la verticale de Barré chez l'enfant de 8-9 ans. In: Pérennou D, Lacour M, editors. *Efficience et déficiences du contrôle postural*. Marseille: Solal; 2006. p. 169–71.
5. Scheibel A, Bourgeois P. Détermination rétrospective des valeurs de référence de la verticale de Barré dans une population de 7 à 18 ans. In: Pérennou D, Nougier V, Honoré J, Lacour M, editors. *Contrôle postural, espace, locomotion*. Marseille: DeBoeck Solal; 2012. p. 129–33.
6. Brant T, et al. Vision and posture. In: Bles W, Brant T, editors. *Disorders of posture*. Amsterdam, New York, Oxford: Elsevier Science Publishers B.V.; 1986. p. 157–75.
7. Kapoula Z, Lê TT. L'effet de la distance sur le quotient de Romberg. In: Borel L, Lacour M, editors. *Contrôle postural et représentations spatiales. De la neurobiologie à la clinique*. Marseille: Solal; 2007. p. 193–202.
8. Gagey PM, Weber B. *Posturologie, Régulation et dérèglements de la station debout*. Paris: Masson; 2003. p. 70–72.
9. Guillaume P. L'examen clinique postural. *Agressologie* 1988.
10. Legendre-Batier S. La verticale de Barré déviée isolément en L3 manifeste un problème podal. In: Lacour M, Rougier P, editors. *De Marey à nos jours : un siècle de recherche sur la posture et le mouvement*. Marseille: Solal; 2006. p. 265–8.
11. Serougne G, Legendre-Batier S. Les déviations cervicales et lombaires à la verticale de Barré : entrées hautes, entrées basses ? In: Borel L, Lacour M, editors. *Contrôle postural et représentations spatiales. De la neurobiologie à la clinique*. Marseille: Solal; 2007. p. 355–9.

L'angle tibio-tarsien

12. Gagey PM. Pied pilier et pied moteur. In: Villeneuve P, editor. *Pied équilibre et rachis*. Paris: Frison-Roche; 1998. p. 165–76.
13. Gagey PM, Baron J-B. Influence des mouvements oculaires volontaires sur le test de Fukuda. *Agressologie*, 24, 2, 117-118, 1983. (Cf Postura 5, 13-14, 2005).
14. Gagey PM, Bizzo G, Ouaknine M, Weber B. La tactique du pied. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Pied, équilibre et traitements posturaux*. Paris: Masson; 2003. p. 16–21.
15. Bessou P, Bessou M. La giration corporelle dans l'équilibre monopodal. In: Villeneuve P, Weber B, editors. *Pied, équilibre et mouvement*. Paris: Masson; 2000. p. 45–52.
16. Bessou P, Bessou M. Sensibilité cutanée de la sole plantaire, faits et hypothèses. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Pied, équilibre et traitements posturaux*. Paris: Masson; 2003. p. 47–53.
17. Bessou P, Costes-Salon MC, Dupui P, Montoya R, Pages B. Analyse de la fonction d'équilibration dynamique chez l'Homme. *Arch. Int. Physiol. Biol.* 1988;96. A 103.
18. Bessou M, Dupui P, Severac A, Bessou P. Le pied, organe de l'équilibration. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Paris: Frison-Roche; 1996. p. 21–32.
19. Legendre-Batier S, Levy M. Répercussion de l'équilibre mandibulaire sur l'angle tibio-tarsien. *Postura* 2006;8:13–5.
20. Legendre-Batier S, Courberand J, Lemoine P. Mesure de l'angle tibio-tarsien chez le sujet indemne de troubles posturaux. Travail de recherche non publié, 2012.

21. Normes 85. (1985). Éditées par l'Association pour le développement et l'application de la posturologie (ADAP).
22. Winter DA, Patla AE, Prince F, Ishac M, Gieloo-Perczak K. Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol* 1998;80(3):1211-21.
23. Baron JB, Raison, Lepoivre, Munier. Troubles vertigineux d'origine dentaire. *Rev. Oto-neuro-ophthalmo.* 1953;15:31-4. 1.
24. Meyer J. Participation des afférences trigéminales dans la régulation tonique posturale orthostatique. Intérêt de l'examen systématique du système manducateur chez les sportifs de haut niveau. Thèse Univ. René Descartes, Paris V, 1977.

Le test de la résistance du long fléchisseur de l'hallux

25. Gumina S, Postacchini F. Measurement of extensor hallucis longus power in patients with hallux valgus. Is the Dandy sign reliable in case of hallux valgus? *Ital J orthop Traumatol* 1992;18:491-5.
26. Helbert S. Hallux valgus et stabilisation posturale. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique. Dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Masson; 2007. p. 148-53.
27. Helbert S. Étude stabilométrique de l'hallux valgus en charge : Entretiens de Bichat, journée de podologie, *Expansion scientifique française*, J. Samuel (ed), 1997, 44-47, Paris.
28. Snijders CJ, Snijders JGN, Philippens MM. Biomechanics of hallux valgus and spread foot. *Foot Ankle* 1986;7:26-39.
29. Helbert S. Latéralité et asymétries de la posture orthostatique. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Tonus, posture et attitudes*. Paris: Masson; 2010. p. 115-20.
30. Helbert S. Hallux valgus et stabilisation posturale. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique. Dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Masson; 2007. p. 148-53.
31. Didier R, Guillaume Krief G, Moussion A. *Complémentarité de l'ostéopathe et du podologue dans le traitement des cervicalgies liées aux hallux valgus*. Mémoire Ostéopathie, Eds. CEESO, 2002.
32. Richard R. *Lésion ostéopathique du membre inférieur*. 4^e édition Frison-Roche; 2003.
33. Come D. *Hallux valgus et insuffisance de M1* Entretiens de Bichat, Podologie ; 103-110, Expansion, Paris, 1999, J. Samuel (ed).

Maddox, hétérophorie verticale

34. Amblard B, Crémieux J, Marchand AR, Carblanc A. Lateral orientation and stabilization of human stance: static versus dynamic visual cues. *Exp Brain Res* 1985;61:21-37.
35. Amos FJ, Rutstein RP. Vertical deviation. In: Amos FJ, editor. *Diagnosis and management in vision care*. Amsterdam, New-York, Oxford: Butterworths; 1987. p. 515-83.
36. Casillas Casillas E, Rosenfield M. Comparison of subjective heterophoria testing with a phoropter and trial frame. *Optom Vis Sci* 2006;83:237-41.
37. Daum KM. Heterophoria and heterotropia. In: Eskridge JB, Amos FJ, Barlett JD, editors. *Clinical procedures in optometry*. Philadelphia: J.B. Lippincott Compagny; 1991. p. 72-90.
38. Garrigues B. Anomalies de la localisation spatiale visuelle chez l'enfant dyslexique. Étude préliminaire. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique : dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Elsevier Masson; 2007. p. 70-5.
39. Goodale MA, Milner AD. Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences* 1992;15:20-5.
40. Marino A, Quercia P. Stimulations trigéminales bipolaires : vers une orthodontie neurosensorielle au cours de la dyslexie de développement. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique : dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Elsevier Masson; 2007. p. 76-81.

41. Matheron E. Hétérophories verticales et normalisation myotonique. *Kinésithér Scient* 2000;34:23–8.
42. Matheron E, Barlaud P, d'Athis P. Évaluation des hétérophories verticales en vision de loin sur des sujets arthralgiques et/ou rachialgiques dits chroniques, et incidence de leur normalisation par kinésithérapie proprioceptive spécifique. In: Lacour M, Weber B, editors. *Bipédie, contrôle postural et représentation corticale*. Marseille: Solal; 2005. p. 213–20.
43. Matheron E, Quercia P, Weber B, Gagey PM. Vertical heterophoria and postural deficiency syndrome. *Gait and posture* 2005;21(suppl 1):20–3. S132.
44. Matheron E, Weber B. Implication de l'entrée visuelle dans les asymétries toniques posturales : approche clinique. In: Perennou D, Lacour M, editors. *Efficience et déficiences du contrôle postural*. Marseille: Solal; 2006. p. 261–70.
45. Matheron E. Test de Maddox (stries verticales) et syndrome de déficience posturale. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique : dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Elsevier Masson; 2007. p. 44–51.
46. Matheron E, Kapoula Z. Vertical phoria and postural control in upright stance in healthy young subjects. *Clinical Neurophysiology* 2008;119:2314–20.
47. Matheron E, Yang Q, Lê TT, Kapoula Z. Effects of ocular dominance on the vertical vergence induced by a 2-diopter vertical prism during standing. *Neuroscience Letters* 2008;444:176–80.
48. Matheron. (2009). Incidence des phories verticales sur le contrôle postural en vision binoculaire. Thèse de Sciences (Neurosciences). Université Paris V – René Descartes, Paris.
49. Matheron E, Kapoula Z. Vertical heterophoria and postural control in nonspecific chronic low back pain. *PLoS One* 2011;6(3). e 18110.
50. Matheron E., Kapoula Z. (2011b). Face piercing (body art) : choosing pleasure vs. possible pain and posture instability. *Front. Physio.* 2 : 64.
51. Matheron E, Kapoula Z. Incidence of vertical phoria on postural control during binocular vision: what perspective for prevention to nonspecific chronic pain management? *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2015;4:27–30.
52. McCabe CS, Haigh RC, Halligan PW, Blake DR. Simulating sensory-motor incongruence in healthy volunteers: implications for a cortical model of pain. *Rheumatology* 2005;44:509–16.
53. McCabe CS, Cohen H, Blake DR. Somaesthetic disturbances in fibromyalgia are exaggerated by sensory motor conflict: implications for chronicity of the disease? *Rheumatology* 2007;46:1587–92.
54. Quercia P, Demougeot L, Dos Santos M, Bonnetblanc F. Integration of proprioceptive signals and attentional capacity during postural control are impaired but subject to improvement in dyslexic children. *Exp Brain Res* 2011;209:599–608.
55. Schor CM, McCandless JW. An adaptable association between vertical and horizontal vergence. *Vision Res* 1995;35:3519–27.
56. Schor CM, McCandless JW. Context-specific adaptation of vertical vergence to correlates of eye position. *Vision Res* 1997;37:1929–37.
57. Ungerleider LG, Mishkin M. Two cortical visual systems. In: Ingle DJ, Goodale MA, Mansfield RJW, editors. *Analysis of visual behaviour*. Cambridge, MA: MIT Press; 1982. p. 549–86.
58. van Rijn U, ten Tusscher MP, de Jong I, Hendrikse F. Asymmetrical vertical phorias indicating dissociated vertical deviation in subjects with normal binocular vision. *Vision Res* 1998;38:2973–8.
59. von Noorden GK. *Binocular vision and ocular motility: theory and management of strabismus*. 5^e edition St. Louis: Mosby; 1996. 605 p.
60. Wong AM, Tweed D, Sharpe JA. Vertical misalignment in unilateral sixth nerve palsy. *Ophthalmology* 2002;109:1315–25.

CHAPITRE 8

Tests posturo-cinétiques

8.1. L'épreuve posturo-dynamique : description, interprétation et évolution

Philippe Villeneuve, Sylvie Villeneuve-Parpay

L'examen clinique posturologique en position debout peut se décomposer en deux parties principales. Une première à visée statique, positionnelle, morphologique, le patient est passif, dans sa posture usuelle : elle est surtout centrée sur une analyse visuelle et objective de la position relative des segments osseux (une bascule des épaules, par exemple). Une seconde, centrée spécifiquement sur l'évaluation du tonus postural, sera dynamique, le muscle sera étiré activement ou passivement : elle est surtout perçue palpatoirement. Dans ce cadre, nous ferons le point sur l'épreuve posturo-dynamique [1] décrite il y a vingt ans par Philippe Villeneuve. Cette épreuve fait partie de l'examen clinique posturologique de routine ; permettant, à travers une analyse cinématique segmentaire, d'analyser la répartition du tonus musculaire des membres inférieurs et du rachis en position debout, elle a montré sa reproductibilité. L'analyse de l'épreuve posturo-dynamique (EPD) permet de comprendre l'organisation des hypertonies, d'analyser la cinématique des différents segments de l'axe corporel, d'orienter le diagnostic vers certaines dysfonctions ou pathologies et d'objectiver les variations toniques induites par les traitements.

Avant de développer l'EPD qui permet d'évaluer le tonus musculaire et ses répercussions posturales, il convient d'appréhender la définition du tonus musculaire.

Tonus musculaire et tonus postural

Jacques Paillard définit en 1976 le tonus musculaire comme « la tension légère à laquelle se trouve normalement soumis tout muscle squelettique à l'état de repos ». Mais il ajoute cette restriction capitale « [...] et qui disparaît après

section du nerf moteur ». Ceci permet de ne pas confondre, dans la clinique humaine, les effets locaux « rapportables aux altérations des propriétés viscoélastiques du tissu musculaire [...] avec la tonicité résultant d'un processus contractile d'origine nerveuse » qui, lui, peut être d'origine centrale et entraînera une modification du tonus sur l'ensemble du corps, comme nous le verrons plus loin. Dès la seconde partie du XIX^e siècle, Duchenne de Boulogne (1867) avait observé que « les contractions musculaires isolées ne sont pas dans la nature ».

Puis, au milieu du XX^e siècle, à une époque où l'investigation médicale et tout particulièrement neurologique était surtout clinique, André-Thomas et de Ajuriaguerra (1949), pionniers de l'évaluation clinique du tonus musculaire, affirmaient qu'« **étirer un muscle est comprendre son état** ». Cet héritage de l'examen clinique des neurologues a été renforcé par les travaux d'un ORL japonais, Tadashi Fukuda (1959), qui a eu le mérite d'observer que, chez l'adulte comme chez le nouveau-né, le tonus postural s'exprime à travers le mouvement et les réflexes posturaux (voir chapitre 3.1).

Dans la tradition de l'examen clinique du tonus postural, nous avons proposé en 1995 un nouvel examen clinique du tonus postural, l'épreuve posturo-dynamique, qui permet d'objectiver les répartitions des hypertonies de la musculature de l'axe corporel en s'appuyant sur la biomécanique de l'homme debout.

Biomécanique de l'axe corporel

La biomécanique, comme son nom l'indique, concerne des structures vivantes qui ne se déplacent jamais de façon rectiligne lors du mouvement ; en effet, comme l'écrit Kapandji (2011), on ne trouvera « aucune ligne droite, aucun plan véritablement parfait, aucun cercle, aucune surface de révolution parfaite : en biomécanique tout est courbe ». Cela s'applique bien évidemment au mouvement de la colonne vertébrale et du quadrilatère pelvi-pédieux, où les mouvements, notamment dans le plan frontal, ne sont pas rectilignes.

Biomécanique vertébrale

Au début du XIX^e siècle, les premiers à avoir appréhendé les lois de la cinématique vertébrale furent des Allemands, les frères Weber (1836), suivis par un helvétique Fick (1903). Ils constatèrent que la latéroflexion vertébrale lombaire et thoracique entraînait une rotation automatique. Puis Lovett (1907), chirurgien orthopédique infantile américain, décrivit la flexion latérale du rachis. Il confirma qu'elle n'existait pas comme un mouvement pur, mais devait être considérée comme un mouvement composé d'inclinaison et de rotation. Il précisa que l'organisation des rotations automatiques était dépendante de la position de la colonne vertébrale dans le plan frontal (fléchie, érigée ou en hyperextension), lors de la flexion latérale. Dans la routine clinique décrite dans son ouvrage, Lovett proposait d'examiner le rachis

debout, notamment en latéroflexion, dans le but d'objectiver les limitations de mouvement.

Ce modèle fut par la suite adapté à la clinique ostéopathique par l'Américain Fryette (1954), ce qui lui permit de codifier un examen de la mobilité vertébrale et d'en déduire certaines lois cliniques. Celles-ci sont aujourd'hui remises en question [2]. En posture érigée habituelle, l'inclinaison latérale du rachis entraîne une rotation vertébrale automatique, mouvement secondaire que Kapandji (1982) décrit ainsi : « On voit les corps vertébraux tourner sur eux-mêmes de telle sorte que leur ligne médiane antérieure se déplace vers la convexité de la courbure ». Cela se retrouve physiologiquement au niveau vertébral, lombaire et dorsal.

Au niveau de la colonne cervicale supérieure de sujets sains, il existe une association entre rotation et flexion latérale qui est opposée pour les vertèbres cervicales hautes et du même côté pour les cervicales inférieures [2]. Ces rotations opposées entre les cervicales inférieures et supérieures contribuent à maintenir le regard dans le plan frontal en station debout et lors de la marche. Comme l'a montré Penning en 1978 [3] à l'aide d'analyses radiographiques : « Les mouvements d'inclinaison du rachis cervical inférieur sont compensés dans le rachis sous-occipital pour obtenir une inclinaison pure ». Il est à noter que plus de la moitié des possibilités maximales de rotation vertébrale dans le plan horizontal s'effectuent au niveau de la seconde cervicale qui, chez des sujets jeunes, peut à elle seule atteindre 40° de rotation environ, alors que l'ensemble des cervicales tourne en moyenne de 75° [4].

Le tonus des tenseurs musculaires explique vraisemblablement la cinématique vertébrale : l'inclinaison latérale étire la musculature controlatérale qui joue un rôle clé dans les rotations automatiques [5]. Ces dernières risquent d'être modifiées en fonction des synergies de recrutement musculaire.

Les synergies des muscles spinaux sont différentes chez les lombalgiques chroniques [6] et chez les sujets sains. Lors de la flexion latérale du rachis, chez des lombalgiques chroniques, l'activité électromyographique (EMG) des muscles multifidus et longissimus se répartit contro et homolatéralement. Ces cocontractions perturbent la cinétique rachidienne, entraînant un arrêt ou une limitation du mouvement. À l'inverse, chez les non-lombalgiques, l'activité EMG se localise uniquement dans les muscles controlatéraux, permettant à la cinématique physiologique de s'exprimer.

Biomécanique du quadrilatère pelvi-pédieux

Les articulations concernées dans les mouvements dans le plan frontal du quadrilatère pelvi-pédieux sont essentiellement les articulations transverse du tarse (médio-tarsienne) et subtalaire (sous-astragaliennne).

Debout, les mouvements des articulations transverse du tarse et subtalaire s'organisent autour de l'axe de Henke. Comme ce dernier est oblique en haut en avant et en dedans, cela entraîne pour tout mouvement dans le plan frontal un

mouvement dans le plan horizontal (rotation). La configuration articulaire de la talo-crural ne lui permet pas de participer au mouvement de rotation, mais elle le transmet. Une translation pelvienne entraîne une inclinaison de la jambe en dehors qui crée secondairement une rotation interne.

Pour résumer, un mouvement d'inflexion de la colonne vertébrale dans le plan frontal doit physiologiquement s'associer à une rotation contralatérale (mouvement secondaire) pour les segments vertébraux lombaires et thoraciques. La tête, elle, doit rester strictement dans le plan frontal (pas de rotation). Lors d'une translation dans le plan frontal, le bassin effectuera une rotation opposée au pied d'appui. Chez les rachialgiques, les synergies de recrutement musculaire sont modifiées, ce qui perturbe la cinématique vertébrale.

Pour évaluer la cinématique de la colonne vertébrale et des membres inférieurs, nous pratiquerons l'épreuve posturo-dynamique que nous allons décrire.

L'épreuve posturo-dynamique

Cette épreuve permet de mettre en évidence les potentielles hypertonies musculaires de l'axe corporel, ainsi que leurs conséquences biomécaniques, en posture debout relâchée. Elle se divise en deux parties : une spinale et une constituée de l'arc inférieur (quadrilatère pelvi-pédieux). La partie spinale qui évalue le tonus des muscles du rachis [1] est subdivisée en trois parties : lombaire, thoracique et cervicale. La partie pelvi-pédieuse évalue le tonus des muscles de l'arc inférieur [1, 7] et permet de localiser d'éventuelles hypertonies, de les classer (localisées, latéralisées, généralisées), d'apprécier le poids des exocapteurs (oculaire, podal, vestibulaire, stomatognathique) et des systèmes proprioceptif et neural sur le tonus postural. De plus, elle permet d'orienter le traitement et d'objectiver son efficacité.

La reproductibilité de l'épreuve posturo-dynamique a été évaluée dans plusieurs circonstances. Weber et al. [8] montrent que chez des praticiens non experts (en cours de formation), il existe une reproductibilité intrapraticien dans 83 % des cas pour l'ensemble du posturo-dynamique, mais pas de reproductibilité interpraticien sur l'ensemble de l'EPD. Par contre, si l'on effectue une analyse par région anatomique du rachis, la reproductibilité interpraticien [9, 10] au niveau cervical, thoracique et lombo-pelvien est pour les deux équipes respectivement supérieure à 90 %, 60 % et 79 %. L'épreuve au niveau podopelvien a également montré sa reproductibilité : une concordance de 82 % est retrouvée pour trois examinateurs, si l'on considère que la rotation finale est physiologique ou non physiologique et que les pieds sont écartés de 22 cm, formant un angle de 20° [11]. De plus, cette étude montre qu'une large majorité des épines irritatives d'appui plantaire (EIAP, voir chapitre 4.4) détectées par l'examen posturo-dynamique sont retrouvées à la palpation.

Cette épreuve fait partie de l'examen clinique posturologique de routine utilisé par Gagey et al. [12-14]. Elle est également utilisée dans le cadre de l'évaluation podologique [15 ; 16], stomatognathique [17-19] et ophtalmologique [18, 20]. Elle contribue à identifier des algies locales : podales [15, 21], périnéales [22],

lombaires [16] cervico-thoraciques [23] et des perturbations systémiques de type fibromyalgies [24], voire scolioses [25]. Elle est également utilisée dans la recherche des troubles des apprentissages [18, 20] et des dysfonctions neurales évaluées par la posturo-thérapie neurosensorielle (PNS) [22, 26]. Comme nous le voyons, elle peut être utilisée de façon transdisciplinaire par les différents acteurs du monde postural et permettre ainsi une réelle communication à travers la clinique, en échappant à la complexité du langage de chaque spécialité.

Description de l'épreuve posturo-dynamique

Dans un premier temps, le praticien observe la cinématique des ceintures pelvienne, scapulaire et de la tête lors de la latéroflexion active du patient. Dans un second temps, si nécessaire, l'examen analytique recherche le ou les segments vertébraux ou de l'arc inférieur dysfonctionnels.

Lorsque le sujet est stable, son tonus bien réparti entre les divers groupes musculaires, la rotation est opposée à la latéroflexion ou à la translation pour l'arc inférieur. Le mouvement est ample et fluide. Cette réponse physiologique manifeste un bon équilibre du tonus de l'axe corporel. On peut considérer que cette réponse s'effectue alors selon une « répartition tonique physiologique ».

Par contre, la limitation ou l'inversion des rotations manifeste l'hypertonie de certains groupes musculaires posturaux qui traduit le déséquilibre postural en rigidifiant un ou des segments vertébraux, parfois tout le corps. Ces réponses non physiologiques traduisent une hypertonie, révélant une hyperexcitabilité qui peut être locale (un étage métamérique) ou généralisée à l'ensemble du rachis [27]. Ces réponses montrent une « répartition tonique aphysiologique ».

Épreuve globale au niveau lombaire et pelvien

Le patient est debout, pieds écartés, dans sa position spontanée, le regard en position primaire, les dents sans contact. Le praticien, derrière lui (figure 8.1), positionne ses mains latéralement aux faces externes des ailes iliaques du patient, les pouces sur les épines iliaques postéro-supérieures (EIPS). Le patient s'incline latéralement dans le plan frontal en commençant par la tête (épreuve active), à droite puis à gauche. Le praticien analyse si le mouvement secondaire (automatique) dans le plan horizontal s'exprime physiologiquement ; dans ce cas, son pouce du côté de l'inclinaison avance régulièrement. Si ce n'est pas le cas, le mouvement sera considéré comme non physiologique.

Lors d'une inclinaison latérale, les lombaires du patient devraient physiologiquement effectuer une rotation contralatérale à la latéroflexion, mouvement qui se poursuit par une rotation pelvienne. Par exemple, une latéroflexion droite du patient entraîne physiologiquement une rotation gauche du bassin, et inversement pour une latéroflexion gauche (figure 8.2).

L'hypertonie des muscles spinaux limite la cinétique articulaire qui ne s'exprime alors pas physiologiquement ; on peut supposer qu'il existe une dysfonction proprioceptive au niveau de l'articulation sacro-iliaque ou des lombaires. Cette dysfonction pourra être confirmée et précisée par une analyse segmentaire.



FIGURE 8.1. Épreuve posturo-dynamique globale.

Position du praticien par rapport au patient et position des mains lors de l'analyse de la partie thoracique.

Photographie : Institut de Posturologie.

Épreuve globale au niveau dorsal

Le praticien pose les mains (sans pousser) sur la face postérieure des omoplates du patient, les doigts vers le haut ; les pouces horizontaux situés de part et d'autre de l'épineuse de la sixième vertèbre thoracique, convergeant l'un vers l'autre. Comme pour l'analyse cinématique des lombaires et du pelvis, le patient s'incline latéralement dans le plan frontal, à droite puis à gauche. Le praticien analyse palpatoirement si le mouvement secondaire dans le plan horizontal s'exprime physiologiquement, sa main du côté de l'inclinaison avance régulièrement. Si ce n'est pas le cas, le mouvement sera considéré comme non

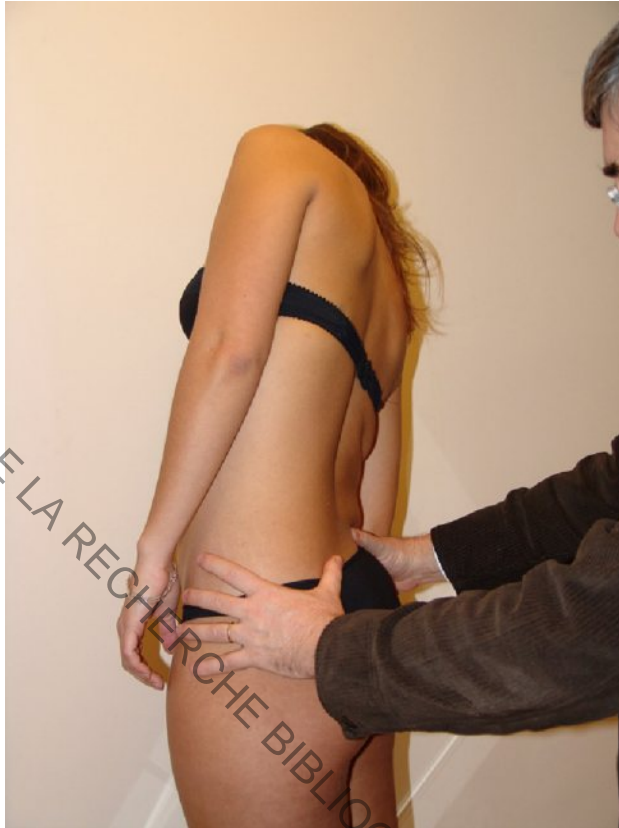


FIGURE 8.2. Épreuve posturo-dynamique globale lombo-pelviennne.
Photographie : Institut de Posturologie.

physiologique. La colonne dorsale du patient effectue normalement une rotation controlatérale à la latéroflexion et entraîne la ceinture scapulaire. Une latéroflexion droite doit entraîner une rotation gauche des dorsales et de la ceinture scapulaire, et réciproquement (figure 8.1).

Épreuve globale au niveau cervical

Le patient est debout, le praticien, derrière lui, met en contact (sans pousser) ses mains, doigts vers le haut, sur les temporaux et les pariétaux, et ses pouces sur la partie postérieure de l'occiput (écaille). Le patient incline latéralement la tête dans le plan frontal, à droite puis à gauche (figure 8.3). Normalement, il n'existe pas de mouvement secondaire dans le plan horizontal. Tout mouvement secondaire de la tête du patient dans un plan horizontal signe une dysfonction proprioceptive. En effet, les mouvements de rotation du rachis cervical inférieur sont compensés par une rotation opposée de l'atlas/axis pour obtenir une inclinaison pure [4].



FIGURE 8.3. Épreuve posturo-dynamique globale cervicale.
Photographie : Institut de Posturologie.

Épreuve globale au niveau du quadrilatère pelvi-pédieux

Le patient est debout, pieds écartés, le praticien, derrière lui, empaume de ses mains les crêtes iliaques du patient et pose ses pouces sur les EIPS, comme pour l'analyse lombo-pelvienne (figure 8.2). Le praticien translate le bassin du patient latéralement dans le plan frontal, vers la droite puis vers la gauche (épreuve passive). Durant ce mouvement, le praticien observe, dans le plan horizontal, le mouvement secondaire : un de ses pouces avance. La réponse est de type physiologique si le bassin du patient effectue une rotation controlatérale à la translation : une translation du patient vers la droite entraîne une rotation gauche du bassin, et réciproquement ; cette réponse se situe dans une loi d'adaptation.

Le mouvement secondaire, physiologique, doit être **régulier** et **ample**. Un retard, une interruption ou une inversion de sens du mouvement, même momentanée, est à considérer comme pathologique et nécessite une analyse spécifique.

Si la réponse n'est pas physiologique, il faudra rechercher une épine irritative d'appui plantaire (EIAP, voir chapitre 10.3) en interposant une fine plaque de mousse sous les pieds [28, 29] qui pourrait restaurer la cinématique pel-

viennaise et rachidienne. Il est important de mettre en évidence les EIAP car non seulement elles entraînent des perturbations de la régulation posturale telles que la surface [29, 30], les positions médio-latérale et antéro-postérieure [30], mais elles influent également sur l'oculomotricité [31]. Elles sont fréquemment retrouvées chez les patients posturaux [29] et empêchent une bonne intégration des neurostimulations plantaires [28, 31].

En cas de réponse aphysiologique, il est probable de trouver une dysfonction proprioceptive au niveau du membre inférieur, du côté de la translation. Une perturbation bilatérale pourrait être le fruit d'une dysfonction neurale liée au plexus sacré ou lombaire, comme l'avait observé Paget en 1879, ce qui a été objectivé par la suite [32].

Analyse segmentaire

Lorsque l'analyse globale a mis en évidence une dysfonction, il est possible de la localiser.

Pour analyser un étage vertébral, le praticien pose ses mains à plat sur les masses musculaires paravertébrales du patient, ses pouces placés latéralement à environ deux centimètres de la ligne des épineuses. Le patient se penche latéralement comme dans l'analyse globale. Est considérée comme réponse physiologique l'avancée du pouce du côté de la concavité, les deux pouces restant à peu près sur le même niveau horizontal. Lorsque le pouce du côté de la concavité recule et que le pouce du côté de la convexité s'ascensionne, nous sommes en présence d'une dysfonction.

- ▷ **Attention !** Les vertèbres cervicales inférieures, de C7 à C3, obéissent à des lois différentes : la rotation s'effectue physiologiquement dans le même sens que la latéroflexion. Tout mouvement différent signe une dysfonction. Les pouces se placent sur la partie postérieure de la transverse analysée. Par contre, les cervicales supérieures, C1 et C2, suivent les lois générales, mais les mouvements de l'atlas sont difficiles à percevoir.

L'analyse spécifique des membres inférieurs s'effectue en décubitus.

Précautions

Avant d'interpréter les résultats de l'épreuve posturo-dynamique, il faut d'abord s'assurer d'avoir évité les principaux pièges. Lors de l'évaluation, il est fondamental de bien contrôler que le praticien n'influe pas sur la régulation posturale du patient. Il ne doit ni le tirer ni le pousser, pour seulement suivre le mouvement induit par l'inclinaison. Il est également très important de bien contrôler les entrées sensorielles du patient. Les yeux doivent rester ouverts, les dents sans contact, les bras relâchés le long du corps. Attention, il est fréquent que le patient ferme les yeux lors de l'inclinaison, ce qui est susceptible de modifier la répartition tonique par exemple. Il conviendra également d'observer si le patient décolle le talon, ou fléchit le genou. Un miroir permettant d'observer l'occlusion des yeux, un podoscope pour observer le décollement d'un pied ne sont pas indispensables, mais rendent la procédure plus fiable.

Transcription clinique

Il est simple et pratique de représenter l'ensemble des dysfonctions proprioceptives dans un tableau récapitulatif qui résumera les résultats de l'épreuve posturo-dynamique globale, et dans lequel sera inscrit, en fonction des niveaux testés, soit une barre de fraction ou slash (/) pour les perturbations cinématiques modérées, soit une croix (X) pour les perturbations plus importantes. Lorsqu'il n'y a eu pas, entre la position initiale du pouce de la main côté latéro-flexion et sa position finale, d'avancée suite à la latéroflexion, une croix (X) sera ajoutée dans la case correspondante (tableau 8.1). Les niveaux vertébraux dysfonctionnels relevés à l'aide de l'épreuve posturo-dynamique spécifique seront spécifiés dans le tableau 8.4.

L'épreuve posturo-dynamique permet de mettre en évidence trois principales catégories de répartition des hypertonies. Ceci est un point clé car, en fonction de ces catégories, le thérapeute se doit de les prendre en compte afin d'utiliser les solutions thérapeutiques les plus adaptées.

Si les hypertonies sont circonscrites à des régions précises, nous sommes en présence de dysfonctions qualifiées de localisées (tableau 8.2) ; il conviendra alors de rechercher une dysfonction dans la zone métamérique correspondante.

Si ces hypertonies envahissent un hémi-rachis, ou tout le rachis, nous sommes en présence de dysfonctions systématisées latéralisées (DSL, tableau 8.3.A) ou généralisées (DSG, tableau 8.3.B), selon la classification décrite par Villeneuve [27]. Ces dysfonctions systématisées se retrouvent fréquemment associées aux

TABLEAU 8.1. Exemple de notation de l'épreuve globale.

Niveau	Côté	
	Gauche	Droite
Cervical		
Dorsal		/
Lombaire	X	
Arc inférieur		

La croix (X) signale une dysfonction importante du lombaire gauche et le slash (/) une dysfonction dorsale modérée à droite.

TABLEAU 8.2. Exemple de dysfonction localisée.

Niveau	Côté	
	Gauche	Droite
Cervical		X
Dorsal	X	
Lombaire		X
Arc inférieur	/	

Il ne peut y avoir trois croix au niveau vertébral dans une même colonne.
L'interprétation ne prend en compte que les croix au niveau vertébral.

TABEAU 8.3.A. Exemple de dysfonction systématisée latéralisée (DSL).

Niveau	Côté	
	Gauche	Droite
Cervical	X	
Dorsal	X	
Lombaire	X	X
Arc inférieur	X	

On compte trois croix au niveau vertébral dans la même colonne.
L'interprétation ne prend en compte que les croix au niveau vertébral.

TABEAU 8.3.B. Exemple de dysfonction systématisée généralisée (DSG).

Niveau	Côté	
	Gauche	Droite
Cervical	X	X
Dorsal	X	X
Lombaire	X	X
Arc inférieur		

L'interprétation ne prend en compte que les croix au niveau vertébral.

TABEAU 8.4. Exemples de notation de l'épreuve analytique.

Niveau	Côté	
	Gauche	Droite
Cervical		
Dorsal		D4/D8
Lombaire	L3	
Arc inférieur		

L'épreuve globale montre :
– une dysfonction lombaire gauche ; l'épreuve spécifique permet d'en préciser le niveau : L3 ;
– des dysfonctions dorsales droites ; l'épreuve spécifique permet d'en préciser les niveaux : D4 à D8.
La croix indique l'existence d'une dysfonction à ce niveau (réponse non physiologique). La présence, dans cet exemple, d'une réponse anormale à tous les niveaux d'un hémicorps signe une atteinte systématique.
L'épreuve segmentaire permet d'en préciser le niveau : L3.

pathologies neuro-fonctionnelles liées à une sensibilisation centrale qui présente un abaissement des seuils de la douleur [33] et de réponse musculaire [32].

Si l'épreuve spécifique met en évidence une dysfonction cinématique localisée à un seul étage vertébral, il est probable que nous soyons en relation avec une dysfonction proprioceptive vertébrale (zygapophyse).

Par contre, si plusieurs étages vertébraux sont perturbés (tableau 8.4), l'interprétation est différente en fonction du nombre d'étages dysfonctionnels. Deux étages dysfonctionnels orientent soit vers une dysfonction discale, soit vers

une dysfonction costale au niveau dorsal. Plus de deux étages dysfonctionnels orientent fréquemment vers une dysfonction antérieure (intéroceptive ou diaphragmatique).

En fonction du nombre et de la répartition des dysfonctions, différentes interprétations peuvent être faites à l'issue de l'épreuve.

Interprétations

La répartition des segments dysfonctionnels met en évidence l'organisation des hypertonies, superposable à celle décrite précédemment par les pionniers de l'étude du tonus chez l'animal, tels Pflüger (1859) et Magnus (1926), et chez l'homme, comme André-Thomas (1921). Ces chercheurs avaient montré qu'en fonction de l'intensité et de la localisation des perturbations nociceptives ou proprioceptives, les réponses motrices pouvaient être locales ou se propager à l'ensemble du corps. En clinique, il est simple de faire varier les entrées sensorielles, en demandant aux patients, par exemple, de fermer les yeux, de serrer les dents ou encore d'interposer sous la plante des pieds une fine couche de mousse et de constater les fluctuations des hypertonies. Lemaire et al. [10], en comparant les trois situations décrites précédemment, ont montré que seule l'interposition d'une fine mousse (3 mm) sous les pieds entraînait une diminution significative ($p < 0,001$) du nombre de segments dysfonctionnels. La répartition des hypertonies et des modifications induites par des variations sensorielles oriente nos choix thérapeutiques.

Évolution de l'interprétation

L'épreuve posturo-dynamique permet de mettre en évidence les syndromes posturaux, mais semble également être un marqueur de la sensibilisation centrale, point commun des syndromes chroniques (fibromyalgie, douleurs orofaciales, intestins irritables, fatigue chronique) souvent inexplicables [34]. Elle pourrait permettre de suspecter des dysfonctions discales lombaires, souvent associées aux lumbagos comme l'avait décrit de Seze (1951), et également contribuer à mettre en évidence des stratégies de hanche, liées au système vestibulo-spinal.

L'épreuve posturo-dynamique pourrait-elle mettre en évidence une sensibilisation centrale ?

Les neurologues du début du xx^e siècle, comme Déjérine et Roussy (1906), Head et Homes (1911), avaient déjà identifié des syndromes centraux, mais ce n'est qu'un siècle plus tard, en 2000, que Yunus [35] a utilisé le terme de sensibilisation centrale (*central sensitization*) pour regrouper diverses pathologies, dont les symptômes physiques ne sont pas expliqués par des étiologies organiques, ce qui pour Mayer et al. [36] est relativement fréquent. Ces plaintes liées à des symptômes non organiques ont traditionnellement été regroupées en syndromes distincts, tels que : fibromyalgie, fatigue chronique, syndrome de l'intestin irritable ou troubles de l'ATM. Ces syndromes partagent de nombreux traits

communs, comme la douleur, la fatigue, les troubles du sommeil, des déficits cognitifs, des maux de tête, l'anxiété et la dépression, ce qui incite à rechercher une étiologie commune [33]. Ce regroupement de symptômes, dans le cadre de la posturologie, avait précédemment été appelé par Da Cunha (1979) : le syndrome de déficience posturale.

Les réactions neuro-motrices rachidiennes pendant l'inclinaison latérale du tronc, lorsqu'elles montrent une hypertonie musculaire systématisée, pourraient être un marqueur de la sensibilisation centrale [32]. Ces hypertonies musculaires intéressant toute la musculature axiale du même côté (latéralisée) avaient déjà été remarquées par les premiers posturologues : Boquet (1995), Gagey et al. (1980), Da Cunha (1979). Elles constituent un véritable syndrome postural systématisé. Villeneuve et al. (1998) ont montré, grâce à l'épreuve posturo-dynamique, que ces hypertonies musculaires latéralisées pouvaient être retrouvées des deux côtés du rachis ; elles prenaient alors le nom de dysfonction systématisée généralisée (DSG).

Une sensibilisation centrale associée à une hyperexcitabilité neuronale est retrouvée dans de nombreuses pathologies neuro-fonctionnelles chroniques. Ces pathologies amènent les patients à venir consulter les posturologues, notamment pour des algies musculo-squelettiques [37] : lombalgies [38], cervicalgies [39], discopathies [40], épicondylite et canal carpien [41], syndrome algo-dysfonctionnel de l'appareil manducateur [42], céphalées [43], migraine [44], fibromyalgie [45] et également des troubles viscéraux comme le vaginisme [46], le syndrome du plancher pelvien hyperactif [47] ou des intestins irritables [48].

L'épreuve posturo-dynamique : dysfonctions discales et vestibulospinales

En dehors des mouvements automatiques décrits précédemment, rotations controlatérales ou leur absence, il est courant d'observer au moins deux autres comportements cinématiques anormaux dans le plan transversal : des translations latérales ou des rotations opposées au sens physiologique (inversées), particulièrement au niveau lombaire.

L'expérience clinique nous a permis de constater, chez certains patients sujets à des lumbagos et décrivant des lombalgies en barre horizontale, une véritable inversion de la cinématique rachidienne bilatérale lors de la latéroflexion. La rotation s'effectue du même côté que la latéroflexion. Cette inversion sera notée par un (I) dans le tableau récapitulatif.

Chez d'autres patients, le mouvement principal pelvien s'effectue dans le plan frontal. On observe une translation pelvienne controlatérale à la latéroflexion, le bassin devenant le sommet d'un angle constitué en bas par les membres inférieurs et en haut par le rachis. Cette translation sera notée par un (T) dans le tableau récapitulatif. La stratégie posturale la plus fréquemment retrouvée chez les patients douloureux chroniques, initialement décrite par Nashner et Mc Collum (1985) comme stratégie de cheville, se transforme alors en stratégie de hanche, dans laquelle l'inclinaison du tronc est controlatérale à celle de l'arc inférieur. Cette dernière se retrouve particulièrement dans les dysfonctions vestibulospinales [49, 50].

Chez d'autres patients, on observe, au lieu de la rotation ou de son absence, une translation pelvienne controlatérale à la latéroflexion. Le corps s'organise autour du bassin et de ses coxo-fémorales. Cette stratégie posturale dite « de hanche » se retrouve particulièrement dans les dysfonctions vestibulospinales [49, 50], alors qu'habituellement, les patients douloureux chroniques présentent une stratégie de cheville initialement décrite par Nashner et Mc Collum (1985).

Conclusion

L'épreuve posturo-dynamique permet d'appréhender facilement les dysfonctions cinématiques liées aux hypertonies localisées ou systématisées d'un patient en posture orthostatique. Lors de l'inclinaison latérale de l'axe corporel, physiologiquement, les vertèbres thoraciques et la région lombo-pelvienne effectuent un mouvement de rotation automatique, la rotation devant être **régulière, ample et controlatérale à l'inclinaison**. Pour l'ensemble des cervicales, il ne doit **pas y avoir de rotation**. Un retard, une interruption ou une inversion de sens du mouvement, même momentané, est à considérer comme dysfonctionnel.

La mise en évidence de perturbation de la cinématique de certaines régions de l'axe corporel permet d'orienter l'investigation clinique soit vers des dysfonctions locales sensorielles (visuelles, plantaires, buccales et vestibulaires) ou sensitives (viscéroceptives, proprioceptives), soit vers des dysfonctions systématisées, reflets d'une hypersensibilisation centrale. Elle permet également de contrôler immédiatement ou à distance dans le temps les traitements posturaux, en comparant l'épreuve initiale à celle exécutée avec une stimulation posturale ou après traitement manuel ou médicamenteux. Les réponses sont immédiates. De plus, cette épreuve clinique, de par sa transcription graphique simple constituée de croix (X), de barre de fraction (/) et de lettres (I et T) dans un tableau de huit cases, permet une communication transdisciplinaire aisée. Elle paraît indispensable à une évaluation systémique des hypertonies musculaires liées aux algies chroniques fonctionnelles et aux instabilités posturales dues aux chutes et troubles des apprentissages.

8.2. Le test du positionnement des index, Romberg postural

Maurice Joris

Le test appelé « Romberg postural » est un dérivé du test décrit en 1846 par Romberg, neurologue allemand. Il mettait en évidence l'incapacité de conserver la station debout sans le contrôle de la vue, cette ataxie statique témoignant de la perte de sensibilité proprioceptive et extéroceptive caractéristique des lésions

tabétiques de la moelle postérieure. Précocement, lors de la maladie, nous trouvons une diminution du sens du toucher et du sens musculaire [51]. Il dépiste également, associé à la manœuvre assise des index, les lésions vestibulaires centrales et périphériques, ainsi que certaines pathologies cérébelleuses [52].

L'examen clinique de l'aplomb l'utilise, associé à d'autres tests dont l'anamnèse, pour rechercher, après avoir éliminé une lésion organique, l'entrée du système qui permettra de modifier cette dépendance visuelle majeure (la dépendance visuelle est uniquement dans le cas de tabès). Il serait sans doute préférable, pour marquer cette différence, de lui restituer le nom de test de positionnement des index de Baron, qui l'avait proposé.

Procédure

Le test s'effectue en trois étapes, qu'il convient de bien respecter :

1. L'orientation de l'axe bipupillaire est repérée. Parfois difficile à visualiser, mais jamais horizontal, il est incliné de 1 à 4° [53]. Il est ensuite demandé au sujet de marcher deux à trois mètres, en balançant les bras et en relâchant les épaules.
2. Le patient est placé debout, regarde devant lui une cible placée à 5 m [54], talons joints, pieds nus ouverts de 30°, bras tendus à l'horizontale devant lui, les mains accolées par leur bord radial. Placé derrière lui, un miroir quadrillé, ou un quadrillage bien visible, permet d'évaluer la translation éventuelle du sujet dans un plan frontal. L'observateur, assis devant lui, sans bouger, pointe avec ses index ceux du sujet et observe, par leur déplacement latéral, la rotation axiale dans un plan horizontal.
3. Le praticien observe alors, à l'occlusion des yeux pendant 30 secondes, les deux réponses posturales – translation et rotation – qu'entraîne ce manque d'afférence visuelle.

Le test apprécie le changement de tactique posturale que provoque la fermeture des yeux, estimant le poids de l'entrée visuelle. Cette observation demande une attention soutenue, une translation importante pouvant masquer une rotation ; cette immobilité apparente des index est, en fait, due à une rotation controlatérale des index [55].

L'observation du phénomène chez des milliers de sujets normaux nous a non seulement convaincu du contraire, mais nous a fourni des tableaux de contingence (tableau 8.5), significativement différents d'une distribution aléatoire ($p < 0,001$), qui évoquent une organisation systématique des asymétries du tonus postural.

Dans 70 % des cas, les index d'un sujet sans défaut d'aplomb tournent à droite et son axe bipupillaire est incliné à droite ; 30 % tournent à gauche et leur axe bipupillaire est incliné à gauche [53] (figure 8.4). L'inclinaison de la tête est corrélée à la rotation du bassin. $\chi^2 = 23$; $p < 0,001$.

Cette observation, fondement historique de l'examen postural et du développement de la posturologie clinique, n'a, à notre connaissance, pas été mise en relation avec les études de latéralité.

TABLEAU 8.5. Contingence de deux asymétries de la posture orthostatique observées chez 103 sujets normaux.

		Inclinaison de la tête		Total
		À droite	À gauche	
Rotation du bassin	À droite	17	31	48
	À gauche	45	10	55
Total		62	41	103

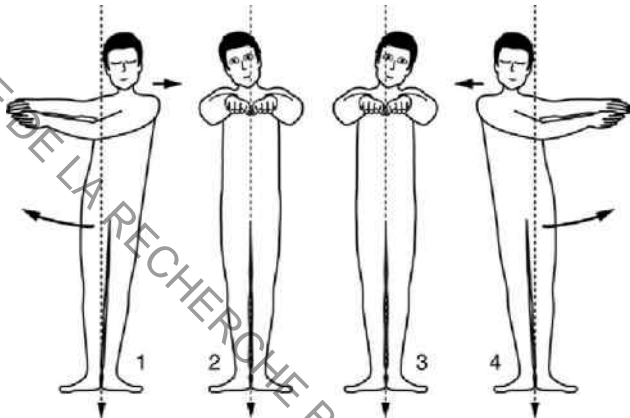


FIGURE 8.4. Romberg postural. À l’occlusion des yeux, un sujet normal tourne sur sa droite (1) lorsque son axe bipupillaire est incliné à droite (2) ; inversement, il tourne sur sa gauche (4) lorsque son axe bipupillaire est incliné à gauche (3).

Une réponse inhabituelle permet de supposer l’existence d’une dysfonction posturale et incite à explorer particulièrement l’entrée visuelle.

J.B. Baron a modifié (voir chapitre 15.1) ce test, utilisé par Bourgeois [56, 57] comme l’un des trois piliers du dépistage des troubles de la posture en milieu scolaire (voir chapitre 15.1). Villeneuve et Villeneuve [58] ont utilisé le vocable pour décrire le mouvement antéro-postérieur provoqué par la fermeture des yeux, observé par Meunier chez des patients instables émotionnellement, et l’absence d’oscillations qui témoignerait d’un hypercontrôle chez les patients obsessionnels compulsifs. La technique utilisée, mesure semi-quantitative de l’avancée de deux phalanges à travers une enceinte étalonnée, répond bien à une réponse posturale à la fermeture des yeux, mais diffère radicalement du test de positionnement des index de Baron qui ne concerne que la rotation axiale du sujet à cette même variation des afférences visuelles.

Résultats

P. Bourgeois utilise la version modifiée par B. Baron du test de Romberg. Au début de cette épreuve, les index ne sont pas joints par leur bord radial et les

bras sont tendus droit devant, les index distants de 5 cm. Une règle graduée mesure la déviation horizontale de l'index qui dévie le plus.

À partir de l'étude statique faite sur plus d'un millier de sujets âgés de 7 à 20 ans par P. Bourgeois, on constate que la moyenne des déviations des index varie significativement à certains âges. Il existe également une différence significative entre les jeunes filles et les jeunes garçons à 7 ans et 19-20 ans (figure 8.5). Des valeurs de référence sont proposées ci-dessous (tableau 8.6).

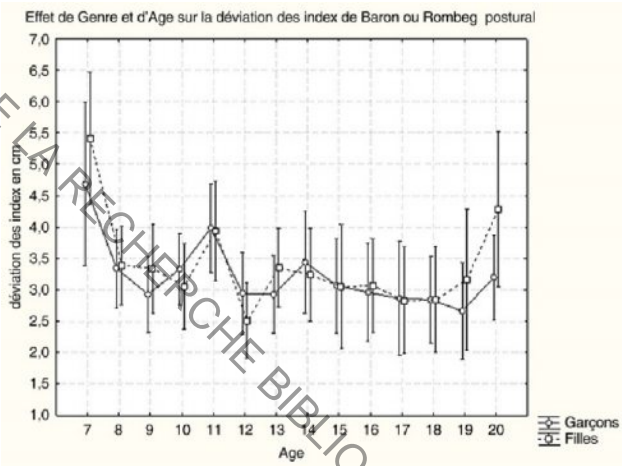


FIGURE 8.5. Évolution de la déviation des index relevée lors du test de Baron (Romberg postural modifié) en fonction de l'âge et du genre des sujets [56, 57].

TABEAU 8.6. Variation des moyennes, écarts standards et limites au 85^e percentile de la déviation des index, sans tenir compte de la translation, en fonction de l'âge et du genre.

Âge	Moyenne	Écart standard	Limite 85 Garçons	Limite 85 Filles
	3,2	2,9	6,0	6,0
7	5,1	3,8	7,5	8,5
9	3,1	2,7	6,0	6,0
11	4,0	3,9	6,5	6,0
12	2,7	2,5	6,0	5,5
14	3,3	2,6	6,0	6,0
19	2,8	1,9	5,5	6,0
Adultes			5,0	

Les valeurs sont exprimées en cm. Seuls les âges qui présentent une variation significative sont proposés.

Discussion

Dans le test de B. Baron, seule la rotation axiale est observée. Une rotation des index d'un côté, homolatérale à une translation du sujet, n'exprime probablement pas la même adaptation du corps à l'occlusion des yeux qu'une rotation d'un côté et une translation contralatérale. L'étude systématique de ces deux types de réponses pourrait enrichir la qualification des asymétries toniques.

La station debout, conquise par l'enfant grâce au contrôle des rapports instantanés des différents segments corporels [59], laisse supposer que la comparaison de différentes positions des pieds, au départ, permettrait d'élargir les informations fournies par ce test. Trois positions communes ont été retenues : « pieds joints » pour observer plus particulièrement la tactique de cheville dans l'étude du pendule inversé [53] (*sway ratio* [60]) ; « pieds en position de Fick », position classique du test, mais avec deux travers de doigts d'écart au niveau des talons de façon à se concentrer sur la tactique de hanche (voir chapitre 8.6) ; « pieds indifférents », position de confort qui isolerait ainsi la nuque et la tête, les autres segments du corps étant stabilisés.

Les deux dernières positions complèteraient l'analyse du comportement selon le concept « *feasible stability region* » [61].

Les réponses du test à ces variations de position des pieds permettraient d'analyser l'intégralité fonctionnelle des systèmes stabilisant les différents segments corporels dans l'espace [59-61].

Conclusion

Le test du positionnement des index ou Romberg postural, pratiqué en première intention et associé à d'autres tests comme le morphostatique et le posturo-dynamique, oriente efficacement l'évaluation clinique fonctionnelle du système d'aplomb.

8.3. Le test des rotateurs

Alain Scheibel

Le posturologue utilise divers tests cliniques pour évaluer l'asymétrie du tonus postural de son patient ; grâce à leurs résultats, il essaie de déterminer par quelle entrée il est possible de modifier la réponse tonique afin de diminuer ou annuler les symptômes dont souffre le patient.

Très souvent utilisés, et bien qu'opérateur dépendants, les tests des rotateurs externes de hanche [62] et la manœuvre de convergence podale (voir chapitre 8.4) permettent rapidement de détecter, dans une position confortable pour le sujet et le thérapeute, la présence ou non de certains réflexes toniques, ainsi que la ou les entrées par laquelle ou lesquelles il est possible de modifier le tonus. Comme toujours, leurs résultats doivent être corroborés et quantifiés par d'autres tests.

Procédure

Le patient est en décubitus, relâché, les bras le long du corps, la tête en position neutre, le regard droit devant fixé au plafond, la mâchoire en posture habituelle.

L'examineur se place en bout de table, empaume les talons du patient sans toucher la sole plantaire (figure 8.6), les pieds étant décollés de 1 à 2 cm et suffisamment écartés pour ne pas se toucher lors du mouvement. L'opérateur doit avoir les coudes tendus, le corps dans l'axe du sujet, la tête et les yeux droits devant, toujours dans la même position. Il ne doit penser à rien et imprime avec ses poignets 5 à 6 mouvements rapides (2 Hz) de rotation interne des deux pieds du sujet simultanément pour tester la résistance opposée à ce mouvement passif par le tonus des muscles rotateurs externes de chaque cuisse. Les premiers mouvements servent à obtenir la détente du sujet, à vérifier qu'ils n'entraînent pas de contraction parasite ni de douleur, et à éliminer les effets de la thixotropie.

Le clinicien apprécie en fin de mouvement l'inclinaison des pieds vers l'axe corporel ; celui qui s'en approche le moins traduit l'hypertonie relative des

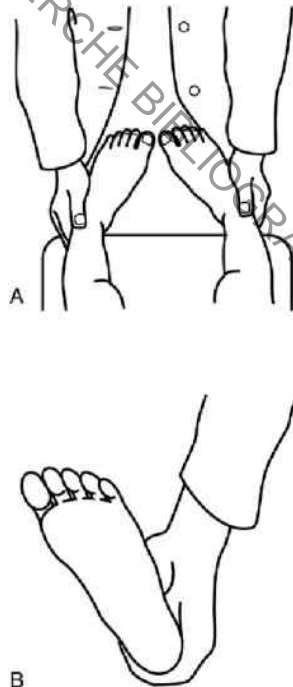


FIGURE 8.6. Position des mains du praticien qui empaument le pied du patient pour le test des rotateurs externes de hanche.

A. Vue de la position du praticien depuis celle du sujet allongé sur la table d'examen.

B. Vue de la plante du pied du sujet : les doigts du praticien n'empiètent pas sur la sole plantaire.

muscles rotateurs de la hanche homolatérale. Cette position du pied lui confirme sa perception de la résistance du tonus des muscles du membre inférieur à la rotation qu'il lui a imposée.

Le résultat du test dépend des forces et du tonus droit et gauche appliqués par le thérapeute sur chaque pied et du tonus des muscles rotateurs du sujet. Cette observation à un temps précis est considérée comme un « instantané » du tonus du couple sujet/examineur et, pour ces raisons, seule la **variation** est évaluée. Une modification tonique est habituellement validée si, après avoir stimulé une des entrées par une stimulation appropriée, la variation d'angulation est, selon l'opérateur, de 10° à 30° [63-66].

Variations normales du tonus des rotateurs

Bien qu'il n'y ait pas eu de travail systématique sur ce sujet, on constate le plus souvent une diminution du côté dit en « hypertonie », lors de la rotation homolatérale de la tête ou celle des yeux clos, la tête restant alors en position neutre. Il en est de même lorsque la main homolatérale est amenée sur l'épaule opposée, le coude relâché sur la poitrine, ou lorsque la main opposée est amenée derrière la nuque, coude relâché également [62].

Si, dans ces différentes situations, les variations n'apparaissent pas, le thérapeute devra vérifier, au cours du traitement, si ces réflexes sont restitués.

Variations anormales du tonus des rotateurs

Normalement, ni le fait de fermer les yeux, ni de chausser des lunettes, ni de serrer les dents ou d'interposer une cale dentaire ne modifie la réponse au test des rotateurs. Dans les cas contraires, une entrée visuelle ou une interférence mandibulaire peuvent être suspectées. Des stimuli sous la sole plantaire, de l'ordre de 20 à 200 g, sont effectués sur des zones précises et peuvent, pour certains, faire apparaître une modification tonique. Habituellement, de tels stimuli sous le scaphoïde du côté de l'hypertonie ou sous le cuboïde de l'autre côté diminuent l'hypertonie.

Les différentes entrées du SPA évaluées anormales par ce test seront corroborées par le résultat des autres épreuves utilisées dans le cadre de l'examen clinique.

Recherches cliniques

Parce qu'opérateur dépendants, les tests pratiqués par des praticiens entraînés sont souvent discutés sur leur intérêt et devraient être, selon certains, éliminés pour valider une variation du tonus. Des travaux, effectués depuis 2001, nous offrent une réponse.

Avant de débiter les protocoles, il a été exigé de tous les opérateurs qu'ils aient pratiqué, dans les conditions précisées plus haut, le test des rotateurs au moins cent fois [67, 68].

Protocole 1 [69]

Matériel et méthode

99 sujets d'un cabinet libéral dont l'âge moyen se situe à 49 ans ont été examinés, quelle que soit leur plainte, par le test des rotateurs. À l'issue d'un tirage au sort, l'épreuve est répétée après 20 secondes, soit après un repos de 20 secondes, soit après le même temps mais assis, soit après s'être levé et avoir marché quelques pas. 34 de ces sujets sont inclus dans un sous-groupe, si une variation de la réponse est constatée après l'interposition d'un bristol de 2×1 cm entre les cuspides. Ils sont soit restés allongés, soit ont marché quelques pas et dégluti 2 à 3 fois avant de subir le test de nouveau. Un dernier test est effectué après que le bristol a été ôté.

Résultats

Un sujet qui présentait une variation entre les deux examens témoins a été exclu.

Les trois tests successifs ont révélé chez tous les sujets sans exception que la réponse au test des rotateurs était identique à la réponse des deux examens témoins, que le sujet soit resté couché, qu'il ait été assis ou qu'il ait marché. Cette répétabilité de réponse est identique chez les sujets dont la réponse a été modifiée par l'interposition d'un plan de morsure, qu'ils soient restés allongés ou qu'ils aient marché et dégluti entre le deuxième et le troisième test.

Après que le bristol a été ôté, tous les sujets ont présenté un test des rotateurs identique à l'initial.

Discussion/Conclusion

Pratiqué par un opérateur expérimenté, le test des rotateurs semble présenter une répétabilité isolé indéniable ; cependant, il reste opérateur dépendant.

Pour le clinicien de la posture non spécialiste de l'articulé dentaire, la seule question qui relève directement de sa compétence est de savoir si les différentes positions de la mâchoire interfèrent avec le tonus et si ces interférences peuvent être levées ou modifiées par son intervention ; il doit disposer, pour en être sûr, de tests et de procédures fiables.

Protocole 2 [63, 64]

Matériel et méthode

26 patients volontaires d'un cabinet médical, âgés de 40 ± 25 ans, sont testés sur plate-forme stabilométrique, successivement yeux ouverts puis yeux fermés, sans et avec interposition d'un plan de morsure (un bristol de 2×1 cm entre les cuspides¹). Ils sont ensuite répartis en deux groupes de 13. Les sujets du premier

1. Éminences coronaires, faces occlusales des prémolaires et molaires qui s'imbriquent lorsque l'on met les dents au contact.

groupe présentent une variation supérieure à 30° du tonus des rotateurs en intercuspidation et avec l'interposition du plan de morsure ; l'autre groupe n'en présente pas. Tous les sujets sont alors soumis au test de piétinement (voir chapitre 9.1) sans, puis avec le plan de morsure.

Résultats

L'étude statistique de la stabilométrie n'a rien montré de concluant, ni en comparant variance et moyenne, ni à l'ANOVA, ni à l'ACP. Le groupe des sujets dont le plan de morsure modifie le test de rotateurs présente une variation significative du test de piétinement, aussi bien la tête en position neutre ($p < 0,025$) que sous l'influence du réflexe nucal ($p < 0,05$).

Dans le groupe des sujets dont le plan de morsure ne modifie pas le test des rotateurs, le test de piétinement ne modifie pas non plus la valeur moyenne de la prépondérance du gain nucal.

Le groupe dont le test des rotateurs est insensible au plan de morsure l'est aussi au test du piétinement.

Discussion et conclusion

En stabilométrie, l'utilisation d'un plan de morsure, corrigeant ou non la dysfonction manducatrice, ne semble pas présenter d'intérêt majeur, ce qui confirme les résultats précédents [70, 71].

Sur les 26 sujets, aucun ne présente de différence entre l'intercuspidation, lorsqu'on lui demande clairement de mettre les dents au contact, et l'interposition d'un plan de morsure de type bristol de 2×1 cm. Cette réponse, *a priori* identique, demande à être vérifiée sur un plus grand nombre de sujets.

Le test des rotateurs met en évidence deux types de sujets : ceux qui sont sensibles à l'intercuspidation ou à la pose d'un plan de morsure (ici, un bristol de 2×1 cm), et ceux qui ne le sont pas. Seuls les premiers varient au test de piétinement.

Protocole 3 [65]

Matériel et méthode

35 sujets volontaires, recrutés parmi la clientèle d'un cabinet de kinésithérapie, sont répartis en 3 groupes. Les mesures sont pratiquées à l'aide d'un goniomètre dont une branche est placée sur la table et l'autre est parallèle au bord interne du pied. Le G1 est constitué de sujets qui ne présentent pas de modification tonique, ni à l'occlusion des yeux, ni à l'intercuspidation, au test des rotateurs ; le G2, de sujets ne présentant pas de modification à l'occlusion des yeux, mais une modification supérieure à 10° à l'intercuspidation. Le G3, de sujets ne présentant pas de modification à l'occlusion des yeux, mais une modification inférieure à 10° à l'intercuspidation.

Immédiatement après ce premier test, tous les sujets subissent le test de Fukuda [73] (voir chapitre 9.1). Un étirement unilatéral de l'ATM est ensuite pratiqué, du côté d'une diduction soit mesurée comme supérieure à 2 mm, soit

évaluée manuellement en restriction de mobilité (voir chapitre 14.3). Enfin, 20 minutes après, un second test de Fukuda est pratiqué.

Résultats

Après traitement, ni le G1 ni le G3 ne présentent de variation significative, des variances ou des moyennes, au test de Fukuda ; le G2, en revanche, présente une variation significative de la variance ($p < 0,025$), la prévalence des Fukuda passant en moyenne de $+30$ à 0° après traitement par étirement de l'ATM, supposée en dysfonction.

Discussion/Conclusion

Les résultats obtenus confirment ceux des travaux précédents : le test des rotateurs est sensible à la variation tonique lors de la mise en intercuspitation de l'échantillon total et conduit bien à distinguer les sujets qui présentent une interférence mandibulaire de ceux qui n'en présentent pas.

Une variation évaluée au minimum à 10° est nécessaire pour être validée, avant et après intercuspitation. Lorsqu'elle est inférieure, le ressenti du thérapeute, même bien entraîné, ne semble pas suffisant. Un test de Fukuda après une semaine et plus permettrait d'envisager la pérennité d'une telle manœuvre sur la régulation du tonus. Sans qu'il y ait eu de recueil systématique, on distingue deux types de sujets ; ceux dont l'effet est maintenu plusieurs mois plus tard et d'autres dont l'effet ne dure pas plus de quelques jours.

Protocole 4 [66]

Matériel et méthode

20 patients volontaires, âgés de 34 ± 10 ans, d'une école d'ostéopathie, sont répartis en 2 groupes. Le premier concerne les patients dont le test des rotateurs varie de plus de 10° lors de l'occlusion des yeux mais ne varie pas lors d'une intercuspitation ; ce groupe est supposé présenter une entrée visuelle possible (GV). Le second concerne les patients dont le test ne varie ni lors de l'occlusion des yeux, ni lors de l'intercuspitation ; ce groupe est supposé ni visuel ni mandibulaire (GNV). Après un interrogatoire excluant les cas habituels en posturologie, tous les sujets subissent dans l'ordre : un test de piétinement, un traitement spécifique par étirement des muscles oculomoteurs les plus tendus à la palpation, une technique dite de « fulcrum », entre orbite et globe oculaire traité puis l'autre (voir chapitre 14.3). Après un repos de 10 minutes allongé, puis 10 minutes assis, un second test de Fukuda est pratiqué, suivi d'un troisième, une semaine plus tard. Un t-test en échantillon apparié est alors calculé pour les deux populations entre T0 et T1, T1 et T7, enfin entre T0 et T7.

Résultats

Le groupe visuel présente une variation significative au test de Fukuda entre T0 et T7 ($p < 0,04$), avec une moyenne des prévalences égale à zéro et une dispersion qui se resserre à T7. Le groupe non visuel et non mandibulaire présente

également une variation significative, cette fois entre T1 et T7 ($p < 0,002$). En moyenne, les prévalences s'inversent à T1 et reviennent près de leur valeur d'origine à T7.

Discussion/Conclusion

Les résultats obtenus confirment ceux des travaux précédents : le test des rotateurs est sensible à la variation tonique lors de l'occlusion des yeux de l'échantillon total et conduit bien à distinguer les sujets qui présentent une perturbation de l'entrée visuelle de ceux qui n'en présentent pas. Ce résultat est corroboré par le test de piétinement, mais seulement sept jours après un traitement manuel des globes oculaires.

- ▷ L'interprétation des résultats statistiques des techniques manuelles est présentée dans le chapitre 14.3.

Conclusion

La différence significative que met en évidence le test du piétinement chez les sujets en défaut d'aplomb et dont le test des rotateurs est sensible à la pose d'un plan de morsure ou de la mise en intercuspitation, à un traitement de l'ATM en restriction de mobilité et à un traitement du muscle oculomoteur le plus tendu, permet deux conclusions :

- afin d'objectiver la validité d'une dysfonction oculomotrice (par occlusion des yeux) ou mandibulaire (par une intercuspitation non forcée), une variation minimale de 10° du côté en hypertonie relative semble nécessaire à l'expression de la variation tonique ;
- pour l'examen clinique, le test des rotateurs constitue une exploration utile et efficace de l'implication de la mandibule ou de l'oculomotricité dans la régulation posturale.

La concordance de deux tests cliniques, dont l'un est observateur dépendant, peut, comme dans les présents protocoles, justifier cette approche de la régulation posturale parfois contestée dans son principe. L'examen clinique apprécie, mieux que toute mesure isolée, les capacités d'adaptation à la verticalité à laquelle le sujet est confronté quoiqu'il entreprenne.

Ce test cherche à observer la variation tonique d'un stimulus ; il peut également être pratiqué semi-allongé, sur un fauteuil de dentiste ou de podologue.

Conclusion de Bernard Weber

La question est souvent posée de savoir si l'examen d'un sujet couché, comme il l'est pour le test des rotateurs, permet de tirer des interprétations valides pour ce sujet debout, condition du test du piétinement. Les présents travaux apportent une réponse. La concordance des variations induites par la même modification de situation, mandibulaire ou visuelle, sur deux tests cliniques différents constitue un argument en faveur de ce type d'exploration clinique. Chacun de ces tests prétend





examiner, dans sa logique propre, la régulation posturale ; les cliniciens les utilisent pour mettre en jeu d'autres entrées du système d'aplomb.

Ils les considèrent en général comme reproductibles lorsqu'ils en ont acquis la maîtrise. Or, ce mode d'examen est contesté par les tenants de l'*Evidence based medicine*, pour lesquels la subjectivité de ce type d'examen, non instrumental ou non validé par une étude multicentrique, est entachée d'inefficacité pour imprécision, voire manque de rigueur. Il est vrai que la pratique de ces tests offre au clinicien expérimenté une information fiable pour lui (reproductibilité isolée), mais que, confrontée à celle d'autres praticiens aussi expérimentés, elle ne permet d'exprimer une concordance qu'après un apprentissage commun de sa formulation [72]. Les présents résultats confortent cette différence : le test des rotateurs dont la reproductibilité interpraticien est effectivement discutable et discutée, pratiqué par un praticien expérimenté, se trouve en concordance avec le test du piétinement dont la reproductibilité n'est pas mise en doute [73].

8.4. La manœuvre de convergence podale

Philippe Villeneuve, Sylvie Villeneuve-Parpay

Les manœuvres, préalables à tout examen postural, permettent de localiser l'hémicorps le plus tonique, en mettant en évidence une limitation de la cinématique, le plus souvent dans le plan transversal, d'un segment de l'axe corporel ; par exemple, la rotation de tête, le piétinement les yeux fermés, la manœuvre de convergence oculaire ou podale. Elles servent de références pour la suite de l'examen, constituée de tests et de réflexes. Après avoir décrit la manœuvre de convergence podale, nous poursuivrons par les tests et réflexes qui en découlent et permettent d'orienter et de vérifier le traitement postural par neurostimulations instrumentales (Alph, prismes posturaux, semelles de posture, vibreur...) ou manuelles (orthopraxie, posturo-thérapie neurosensorielle, voir chapitre 14.6).

Manœuvre de convergence podale (MCP) [74]

La résistance des muscles rotateurs externes de hanche était déjà évaluée par les neurologues tels André-Thomas et de Ajuriaguerra [75], au milieu du xx^e siècle, qui avaient perçu que le tonus musculaire était fluctuant : il « varie à tout moment, il est continuellement en jeu [...] toutes les excitations périphériques, de quelques natures qu'elles soient, sont capables de provoquer des réactions toniques » [76]. Il convient donc d'être rigoureux dans l'utilisation du tonus et de définir nos manœuvres en fonction de grandeurs physiques, comme l'écrit Gagey en 1990 dans les leçons de posturologie [77].



FIGURE 8.7. Manœuvre de convergence podale, MCP.

Lors de la MCP (figure 8.7), le clinicien exécute un mouvement lent de rotation interne passive des membres inférieurs, qu'il peut éventuellement répéter après un temps d'arrêt. Cette manœuvre lente utilise une vitesse maximum de l'ordre de 100° par seconde, une vitesse moyenne de l'ordre de 40° par seconde, une accélération maximum de l'ordre de $120^\circ/\text{s}^2$, l'intervalle de temps entre deux étirements successifs est supérieur à deux secondes. Elle prend en compte les phénomènes de thixotropie² musculaire [78], ce qui est cohérent avec l'étude de posture.

Objectiver l'hypertonie

Bien que, lors de la MCP, le posturologue mobilise l'articulation coxo-fémorale et étire les muscles rotateurs de hanche, il doit penser tonus et « considérer le tonus d'un segment, non pas comme le tonus musculaire d'un groupe de muscles isolés, mais en rapport avec le tonus du corps dans sa totalité » [79]. En effet, Gagey et al. [80] ont montré que la répartition du tonus postural n'est pas aléatoire et qu'elle est homolatérale au pied pilier.

Description de la manœuvre de convergence podale

Le patient est en décubitus dorsal, les bras étendus le long du corps, la tête en position neutre, le regard en position primaire, les dents sans contact.

Le praticien glisse ses doigts à l'arrière de la concavité du tendon d'Achille, son pouce se place sur la face antérieure de l'épiphyse distale du tibia. Les éminences thénar sont appuyées sur le bord antérieur de chacune des malléoles externes du patient.

2. « Phénomène par lequel certains mélanges passent de l'état de gel à celui de liquide par une légère agitation. », Larousse.

On teste la résistance à l'étirement des groupes musculaires rotateurs externes des cuisses en imprimant un mouvement passif de rotation interne des membres inférieurs. Le clinicien applique une force d'égale intensité sur les membres inférieurs droit et gauche, l'amplitude du mouvement étant appréciée par l'angle de rotation maximum des deux membres inférieurs. C'est donc cette amplitude du mouvement qui sert à évaluer la symétrie de la résistance à l'étirement des muscles rotateurs externes. Pour respecter le principe des variations concomitantes et ne faire varier qu'une chose à la fois, à savoir le tonus des rotateurs externes, le clinicien ne soulève pas les membres inférieurs qui reposent sur la table et n'exerce pas de traction sur les pieds, ce qui entraînerait une mise en tension d'autres muscles de l'axe corporel.

Réflexes et test utilisant la MCP

Les réflexes permettent d'investiguer une boucle réflexe en sachant qu'à une stimulation donnée, on doit physiologiquement toujours retrouver un même sens de réponse tonique. Si ce n'est pas le cas, on suspectera une dysfonction proprioceptive. Le traitement de cette dernière entraîne le plus souvent la restauration du réflexe physiologique.

Le réflexe cutané plantaire [74]

Normalement, une stimulation plantaire provoquée par une pression digitale minime (vingt à trente grammes) sous le scaphoïde augmente le tonus des muscles rotateurs externes de la cuisse homolatérale à la stimulation, la modification tonique étant évaluée par la MCP. De même, une stimulation plantaire sous la styloïde du cinquième métatarsien augmente le tonus des muscles rotateurs internes de la cuisse homolatérale à la stimulation.

Le réflexe nucal couché [74]

Les effets du réflexe nucal couché au cours de la MCP rappellent ce qui a été décrit en physiologie par Magnus [81] et ce qui est observé au cours de la manœuvre de piétinement de Fukuda : une augmentation du tonus du côté où la tête est tournée (figure 8.8).

Le réflexe moteur-oculaire couché [74]

Les effets du réflexe moteur-oculaire sont opposés au réflexe nucal. On obtient physiologiquement une augmentation du tonus des rotateurs externes du membre inférieur controlatéral à la version des yeux, lors de la MCP, comme au cours de la manœuvre de piétinement de Fukuda associée à la version des yeux [82] (figure 8.9).

Le réflexe lingual couché [83]

Les effets du réflexe lingual sont identiques au réflexe moteur-oculaire : une augmentation du tonus des rotateurs externes.

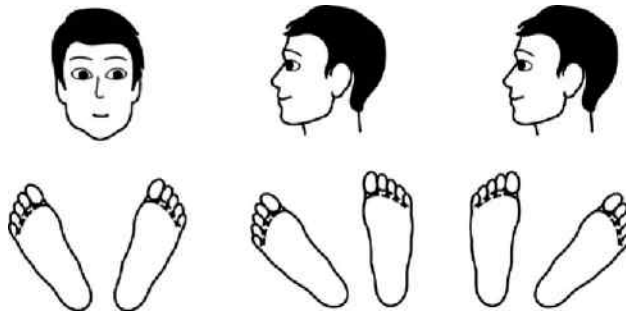


FIGURE 8.8. Réflexe nuchal couché.

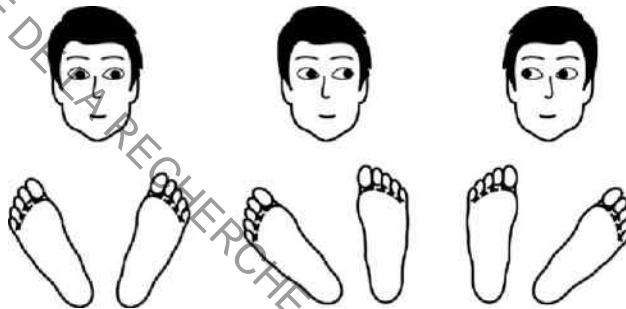


FIGURE 8.9. Réflexe oculomoteur couché.

Après s'être assuré du bon fonctionnement des boucles sensori-motrices, grâce aux réflexes, il est possible d'utiliser la MCP pour déterminer la localisation des stimulations posturales (semelles de posture, Alphs ou prismes). Nous décrirons uniquement la procédure liée au capteur plantaire, mais la détermination des prismes ou des Alphs est équivalente.

Le test des barorécepteurs plantaires [74]

Le praticien, après avoir effectué une MCP de référence, applique avec les doigts une pression au niveau cutané plantaire, de l'ordre de quelques dizaines de grammes ; les barorécepteurs cutanés plantaires ont des seuils, minimaux et maximaux, compris entre 20 et 200 grammes [84]. Après chaque stimulation, on vérifie l'apparition éventuelle d'une modification tonique à l'aide de la MCP. Le praticien retiendra la ou les stimulations qui symétriseront le tonus (isotonie). L'exécution de ce test est si rapide qu'en général on teste systématiquement toute une série de zones plantaires.

Le test des barorécepteurs (figure 8.10) permet de sélectionner un certain nombre de stimulations posturales, le praticien vérifie le bien-fondé de son premier choix thérapeutique grâce aux réflexes couchés tels qu'ils ont été décrits précédemment.



FIGURE 8.10. Stimulation plantaire digitale (barre antérieure) lors du test des barorécepteurs plantaires.

Si les réflexes sont restaurés ou restent physiologiques avec les stimulations posturales, il est possible de passer aux étapes suivantes. Dans le cas contraire, soit le traitement est mauvais, soit il faut envisager un traitement complémentaire (manuel, stomatognatique, visuel, etc.). En cas de succès, il faut chercher à confirmer, par l'examen posturo-dynamique (voir chapitre 8.1.) sur le patient debout, l'efficacité des stimulations posturales trouvées.

8.5. Le test des pouces

Alain Scheibel

Piedallu [85] pratiquait un test des pouces au niveau des sacro-iliaques, mais en recherchant le contact osseux. Il a été suivi par Bassani [86] et Quagliasenta [87] a proposé son extension au niveau du rachis cervical inférieur, sans contact osseux. La recherche du test des pouces sur toute la hauteur du rachis, sans contact osseux, correspond donc spécifiquement à une perspective posturologique, proposée par Fournier [88].

Très utilisé par de nombreuses spécialités qui ont un rôle dans le traitement en posturologie, ce test est présenté ici, bien qu'il soit opérateur dépendant. Nous avons vu qu'il en était de même pour le test des rotateurs jusqu'à ce que des recherches cliniques montrent ses capacités à différencier effectivement une dysfonction manducatrice ou une entrée visuelle (voir chapitre 8.3).

Procédure

Le patient est debout, les pieds en position d'aise, les talons alignés dans le plan frontal. Le praticien, derrière le patient, pose délicatement ses pouces sur la peau du patient, sans appuyer (entre 30 et 50 grammes de pression), de part et d'autre de l'épineuse de L4, en surveillant la symétrie de la position de ses pouces par rapport à l'axe vertical du sujet. Il demande alors au sujet de fixer un repère visuel droit devant lui, puis de s'enrouler lentement sur lui-même, c'est-à-dire de fléchir déjà la tête à fond, puis de laisser tomber les épaules et finalement le tronc comme s'il voulait toucher ses pieds avec ses mains, mais sans plier les genoux (figure 8.11).

Le clinicien, après avoir suivi le mouvement de la peau – et elle seule –, observe **en fin de mouvement** si ses deux pouces sont symétriques ou si, au contraire, l'un des deux est plus haut que l'autre. Le test est ensuite répété à différents niveaux du rachis, par exemple T12, T8, T4, C7 et bosses occipitales. Les résultats sont notés soigneusement sous forme de tableau pour pouvoir être comparés aux résultats obtenus après manipulation du système postural.

Pour être notée, la différence de hauteur entre les deux pouces doit être franche ; cependant, il est parfois nécessaire de se contenter de réponses plus discrètes.

Ce test présente certains pièges :

- les deux pouces ne sont pas, au départ, à la même hauteur, ou le praticien change de repère d'épineuses après la manipulation d'une entrée ; le marquage des épineuses peut s'avérer alors utile ;

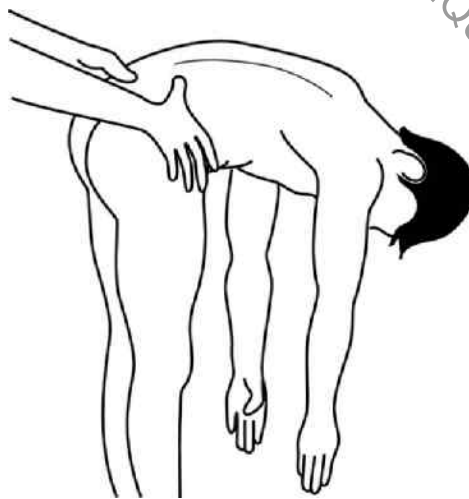


FIGURE 8.11. Test des pouces.

D'après Liebenson et Gagey, *Rehabilitation of the spine*, William et Wilkins, 1995.

- le sujet ne regarde pas, droit devant, une verticale située toujours à la même distance, dans son plan sagittal, au départ du mouvement ; cette consigne doit être fermement imposée ;
- la position des pieds n'est pas la même d'un test à l'autre, ce qui impose de la noter ;
- lors du mouvement, l'appui sur la peau d'un ou des deux pouces est perdu ; il faut alors recommencer ;
- il faut vérifier que la tête du sujet n'est pas fléchie à fond et ne se met pas en extension en fin de mouvement ;

Pendant le mouvement, un des pouces peut être entraîné plus vite, puis rattrapé par l'autre pouce qui finit par le dépasser ; c'est donc en fin de mouvement qu'il faut estimer la hauteur relative des pouces.

Quelle que soit la position d'aise, en ouverture et en écartement des pieds du sujet, elle doit être la même pour les deux examens successifs. Seule la variation après stimuli compte.

Interprétation

Lorsque, qu'un pouce est plus haut sur toute la hauteur du rachis, une hyper-tonie droite ou gauche peut être évoquée. Si l'élévation du pouce ne change de côté qu'à un niveau, notamment en T8, un problème local est envisagé.

Conclusion

Comme pour le test des rotateurs, nombre de paramètres sont à contrôler. Sa répétition, avant de s'y fier, est certainement nécessaire. La réponse qu'il donne doit être, comme toujours, corroborée par les autres tests.

« Très sensible, ce test permet d'observer des variations toniques que les autres ne montrent pas, et bien qu'on ne connaisse pas son mécanisme, il mérite sa place dans la batterie de nos examens » [89].

8.6. Les tests d'antépulsion passive et d'antériorisation active

Sylvie Villeneuve-Parpay

Les tests d'antépulsion passive (TAP) et d'antériorisation active (TAA) explorent, possibilité importante pour les praticiens, les stratégies d'équilibration nommées stratégies de hanche et de cheville [90].

Grâce au modèle expérimental d'une plate-forme mobile pouvant effectuer des mouvements horizontaux de translation antéro-postérieure, ils ont étudié les réactions d'équilibration de sujets debout soumis à ses déplacements. La majorité des sujets réagissent par une réaction initiale (90 à 100 millisecondes)

des muscles extrinsèques du pied, puis 10 à 20 ms plus tard des muscles de cuisse, et encore 10 à 20 ms plus tard des muscles du tronc. Ils ont nommé cette séquence de réactions musculaires disto-proximales « stratégie de cheville » ; elle s'accompagne d'une antépulsion du bassin par rapport à l'axe des chevilles et des épaules par rapport au bassin.

Dans les mêmes conditions, les réactions d'équilibration de sujets reposant sur un support dont la surface d'appui est inférieure à la surface de contact plantaire habituelle provoquent une contraction initiale des muscles du tronc et des cuisses ; Horak et Nashner [91] ont nommé cette séquence de réactions musculaires proximo-distales « stratégie de hanche ». Horak et al. [92] ont montré que l'anesthésie de la plante du pied provoque chez l'adulte jeune une stratégie de hanche. Lors de cette rééquilibration en stratégie de hanche, on observe un mouvement en avant du tronc et un recul du bassin, que Woolacott [93] a observé chez les personnes âgées qui, au contraire des sujets jeunes, la présentent spontanément lors du recul rapide de la plate-forme. Cette stratégie de hanche amplifie les forces de cisaillement dans le plan horizontal et augmente donc l'instabilité.

Pour dépister simplement et rapidement ces stratégies, nous avons proposé [94-96] deux tests compatibles avec les capacités des sujets instables et/ou âgés. En provoquant un déséquilibre antérieur discret et progressif de la masse corporelle, il est possible d'apprécier, manuellement (antépulsion passive) ou visuellement (antériorisation active), le mouvement du bassin qui en résulte : soit vers l'avant quand le sujet oscille autour de ses talo-crurales, stratégie de cheville, soit vers l'arrière quand il se meut autour de ses coxo-fémorales, stratégie de hanche. Nous les désignerons respectivement comme tactique du centre de pression (TCP) ou de pied³ et tactique du centre de gravité (TCG) ou de hanche [97, 98].

Test d'antépulsion passive (TAP) [94, 95]

Objectif : discriminer cliniquement les réactions d'équilibration TCP ou TCG d'un sujet soumis manuellement à une déstabilisation.

Le patient : debout, bras croisés sur la poitrine, l'écartement de ses pieds correspondant à la largeur de son bassin, ses talons sur la même ligne.

Le praticien : placé sur le côté gauche du sujet, il applique sa main gauche entre le nombril et le pubis du sujet et sa main droite sur le dos, transversalement au niveau de la douzième vertèbre dorsale. Il pratique ainsi avec sa main droite une poussée progressive et légère vers l'avant, après avoir expliqué au patient que, translaté en douceur vers l'avant, il doit signaler la perception d'une diminution du contact cutané de la zone postérieure de la face plantaire de ses talons (celle-ci est visuellement observable par le praticien, si le test est réalisé

3. Bien qu'il n'existe pas de modèle mécanique des oscillations de posture autour du centre de pression mettant en jeu les muscles propres du pied, l'auteur préfère conserver l'expression tactique de pied plutôt que tactique de cheville.

sur un podoscope). Pendant la poussée, l'examineur apprécie manuellement avec sa main gauche si le bassin du sujet a avancé ou reculé par rapport à sa position de départ.

Résultats :

- si le praticien perçoit une avancée du bassin par rapport à la position de départ, ce qui correspond à une projection du corps en avant des axes des talo-cruraux, autour desquels se fait le mouvement d'antériorisation, cette avancée signe une TCP ;
- si le praticien perçoit un recul du bassin (souvent précédé et associé à une antéversion du bassin) par rapport à la position de départ, c'est le signe d'une projection du centre de gravité en arrière des axes des talo-cruraux : l'axe du mouvement, situé au niveau des coxo-fémorales, est représentatif d'un TCG ;
- si le praticien perçoit que le bassin avance légèrement puis s'arrête en effectuant un mouvement d'antéversion, cette tactique mixte consiste en un début d'équilibration en TCP, relayée par une TCG. Cette réponse marque le plus souvent le début du vieillissement postural.

Si, lors du TAP, le patient a tendance à se raidir lors de la poussée antérieure, il est préférable de commencer l'examen de sa stratégie d'équilibration par le TAA.

Test d'antériorisation active (TAA) [95, 96]

Objectif : Observation qualitative ou quantitative de la stratégie d'équilibration en TCP ou en TCG.

Le patient : même position que pour le TAP.

Le praticien : il demande au patient de laisser partir volontairement et progressivement son corps vers l'avant jusqu'à ce qu'il perçoive une diminution du contact cutané de l'arrière de ses talons avec le sol, en ayant pour consigne de ne pas se laisser emporter par ce mouvement antérieur et de ne pas avoir à bouger les pieds (par exemple, faire un pas vers l'avant).

Le patient conserve cette position antérieure afin de permettre au praticien, placé sur le côté, d'observer avec son œil de visée le mouvement du bassin par rapport à sa position de départ.

Résultats :

- si le praticien observe en fin d'antériorisation active une avancée des épaules et du bassin par rapport à leurs positions initiales, cela signe une équilibration par TCP.
- si le praticien observe en fin d'antériorisation active une avancée des épaules associée à un recul du bassin par rapport à leurs positions initiales, cela traduit une équilibration par TCG.

- ▷ Il est fréquent de constater qu'un test de TAA préalable facilite beaucoup la réalisation par le praticien du TAP lorsqu'elle est difficile.

Le résultat qualitatif que donne le TAA peut être complété par une observation quantitative, à l'aide d'une analyse vidéographique.

Validation

Deux protocoles ont validé ces observations : le premier chez des sujets jeunes sans pathologie, en principe en TCP ; le second en créant chez ces jeunes volontaires une tactique de hanche (TCG) en diminuant leur surface d'appui plantaire : la différence entre situations de TCP et de TCG est hautement significative [95, 96].

Ces résultats sont reproductibles dans au moins 87,5 % (et jusqu'à 100 %) des observations, aussi bien pour un observateur lorsqu'ils sont répétés, que pour deux examinateurs dans les mêmes conditions d'observation.

Il n'existe aucune différence significative entre ces deux tests, TAP et TAA, quelle que soit la condition de support plantaire : la poussée de l'examineur n'entraîne apparemment pas de réaction secondaire [95].

L'enregistrement ataxiométrique des déplacements de la tête et du bassin permet d'objectiver les réponses du TAP et les confirme [99].

Applications

En gériatrie, plus l'âge avance, plus la tactique de hanche (TCG) est probable. Cohérente avec le test unipodal chronométré, elle peut apparaître dès la cinquantaine, même si la TCP peut encore exister à un âge avancé. Les tactiques mixtes se trouvent plus volontiers aux âges intermédiaires (voir chapitre 15.2).

Conclusion

Les tests d'antépulsion passive (TAP) et d'antériorisation active (TAA), reproductibles, permettent de discriminer la tactique de hanche (TCG) de celle de pied (TCP). Le TAP, instrumentalement validé, représente un outil clinique de surveillance du vieillissement postural. En présence d'une TCP, ces deux tests permettent de vérifier que les orthèses proposées n'entraînent pas une TCG qui les contre-indiquerait. Son interprétation peut être affinée s'ils sont couplés au test du temps de station unipodale (voir chapitre 8.7).

8.7. Le temps d'appui unipodal

Bernard Weber

Ce test a pour but d'apprécier la stabilité, l'équilibre et le risque de chute du sujet (figure 8.12). Tenir moins de 5 secondes sur un seul pied, lorsque l'on a plus de 50 ans, prédirait un haut risque de chute [100], de 5 à 30 secondes un risque moyen, et plus de 30 secondes un faible risque. Les mesures du temps d'appui, associées aux résultats du test d'antépulsion passive (voir chapitre 8.6),

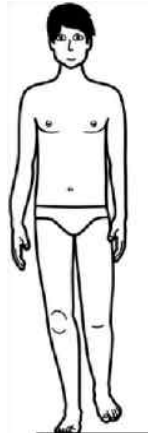


FIGURE 8.12. Temps d'appui unipodal.

permettent d'évaluer plus précisément le risque de chute selon que la tactique du sujet est de hanche ou de pied, et selon le pied moteur ou non [101, 102].

Conditions d'examen

Le sujet est à proximité d'un support auquel il peut se raccrocher. Si un essai préalable a été nécessaire pour compléter l'explication, le sujet marche quelques pas avant de pratiquer le test.

L'examineur, à côté du sujet, commande la levée du pied et déclenche son chronomètre à l'instant où le pied a quitté le sol. Il l'arrête dès que le pied touche le sol ou à 40 secondes si l'équilibre est maintenu. Le test est recommencé sur l'autre pied dans les mêmes conditions.

Il est convenu que le pied pilier est celui qui reste au sol à la première demande de se mettre à cloche-pied ; son côté (droit ou gauche) est noté sur la feuille de recueil ; l'autre est le pied moteur (voir chapitre 3.3).

Notation

Le résultat est noté immédiatement en secondes entières : 1 pour une durée inférieure à 1 seconde, 2 pour une durée comprise entre 1 et 2 secondes, etc., et 40 à partir de 40 secondes.

Protocole

Onze podologues libéraux ont inclus 87 personnes, de 51 à 88 ans, pour subir successivement et dans un ordre aléatoire le temps d'appui unipodal (TAU), dans les conditions décrites plus haut, et le test d'antépulsion passive (TAP) vu au chapitre 8.6. Ce dernier détermine la tactique de pied (TCP), la tactique de hanche (TCG) ou une tactique intermédiaire (voir chapitre 8.6). Le TAU qualifie le côté du pied moteur et du pilier et mesure les durées d'appui pour chacun

d’eux. L’ensemble de ces informations est recueilli et les statistiques utilisent, selon la pertinence, le test du χ^2 ou le t-test en échantillons non appariés.

Sont exclus les porteurs de prothèses de hanche ou de genou, les patients atteints d’affections neurologiques et les sujets déjà traités en posturologie, podologie ou ostéopathie par un autre praticien.

Résultats

Femmes et hommes ont des âges comparables statistiquement. 24 sont en TCP, 48 en TCG, 15 en tactique intermédiaire. La proportion de ces tactiques est différente selon que le temps d’appui est inférieur ou supérieur à 5 secondes ($p < 0,001$).

La répartition des tactiques, en fonction du temps d’appui, pour le pied moteur, est proche de celle pour le pied pilier. Il n’y a pas de différence entre les femmes et les hommes.

Il n’existe pas de différence significative (tableau 8.7) entre les âges moyens des sujets en TCG et TCP, qu’ils tiennent plus ou moins de 5 secondes sur le pied pilier. En revanche, lorsque les sujets sont en TCG, plus l’âge augmente, plus leur temps d’appui est fréquemment inférieur à 5 secondes ($p < 0,0005$).

Que le pied soit moteur ou non, les femmes en TCP sont plus jeunes que celles en TCG. Deux temps moyens se détachent, 20 secondes en TCP et 8 secondes en TCG. En TCG comme en TCP, il n’existe pas de corrélation entre âge et temps d’appui (tableau 8.8).

19 des 53 femmes, constituant un échantillon statistique suffisant (âge $64,4 \pm 8,9$ ans), sont en tactique de pied et 34 ($72,4 \pm 8,9$ ans) en tactique

TABLEAU 8.7. Âge moyen (en années) des sujets (femmes et hommes) en TCP et TCG, selon que leur temps d’appui unipodal, sur le pied pilier, est inférieur ou supérieur à 5 secondes.

	TCP	TCG	t de Student
< 5 s	68,3 ± 13,6	74,4 ± 8,4	N.S.
> 5 s	61,5 ± 5,8	65,3 ± 6,7	N.S.
t de Student	N.S.	p < 0,005	

TABLEAU 8.8. Comparaison de la moyenne des âges (en années) selon la tactique de hanche (TCG) ou de pied (TCP) des sujets et selon le temps d’appui unipodal (en secondes) sur le pied moteur et pilier des 53 femmes.

Tactique		TCP	t-test	TCG
Âge moyen		64,4 ± 8,9	p < 0,005	72,4 ± 8,9
Temps d’appui	Pied pilier	20,6 ± 16,8	p < 0,005	8,18 ± 10,9
	Pied moteur	20,7 ± 16,7	p < 0,005	8,03 ± 1,04
		N = 19		N = 34

de hanche. Dans le premier cas, le temps d'appui moyen est sur le pied pilier de $20,6 \pm 16,8$ secondes et sur le pied moteur de $20,7 \pm 16,7$ secondes. Dans le second cas, le temps est de $8,18 \pm 10,9$ secondes sur le pied pilier et de $8,03 \pm 1,04$ secondes sur le pied moteur.

La comparaison des âges est alors instructive : en TCP, les âges vont de 56 à 69 ans (sauf un sujet de 84 ans) ; en TCG, ils vont de 66 à 85 ans (sauf 2 sujets). En éliminant ces trois sujets, les âges sont de $65,3 \pm 10$ ans pour la TCP, et de $76,4 \pm 8,9$ ans pour la TCG. La différence des âges est significative ($p < 0,01$) ; elle ne l'est plus pour les groupes dont la différence entre les temps d'appui est supérieure à 2 secondes.

La différence entre les âges moyens de ces deux types de tactique est hautement significative.

Les tactiques « intermédiaires » se trouvent plus volontiers aux âges intermédiaires (ici dans l'intervalle 52-76 ans) [101].

Cependant, cette homogénéité statistique des **temps moyens** recouvre des différences nettes entre le TAU sur le pied moteur celui du pied pilier. Deux sous-groupes se dégagent : les sujets dont la différence entre le TAU du pied pilier et moteur est inférieure à 2 secondes, et ceux dont la différence est supérieure à 3 secondes. Les temps moyens d'appui sont de l'ordre 3 secondes pour le premier groupe et de 15 secondes pour le second avec $p < 0,005$; l'âge moyen est de 70 ans pour le premier et de 66 ans pour le second avec $p < 0,025$.

Discussion

Plus l'âge est avancé, plus la TCG est probable ; elle peut apparaître dès la cinquantaine, même si la TCP peut encore exister à un âge avancé (ici, 84 ans).

Pour Tinetti, Vellas et Herndon [103-106], un temps d'appui inférieur à 5 secondes est classiquement indicatif d'un risque accru de chute chez le sujet âgé. Le présent travail montre qu'un temps court est plus fréquent chez le sujet âgé et en TCG. Toutefois, il existe des temps courts en TCP. Mesurer les temps permet de poser l'hypothèse que les valeurs courtes n'ont pas la même signification selon la tactique du sujet. En TCP, les temps courts appartiennent aux sujets plutôt jeunes et s'opposent nettement aux temps longs (proches de 40 secondes ou plus), alors que les temps longs en TCG ne dépassent pas 30 secondes. Cette différence doit être en fait plus marquée puisque l'épreuve est arrêtée à 40 secondes. La limite qui sépare les sujets instables se situerait plutôt vers 20 secondes en tactique de pied, et vers 7,5 secondes en tactique de hanche.

La définition des pieds, moteur et pilier (voir chapitres 3.3 et 8.7), est discutable ; elle a été retenue ici pour limiter la durée du protocole. Néanmoins, elle permet de distinguer deux groupes : celui dont la différence des durées d'appui sur les deux pieds est inférieure à 2 secondes et celui dont la différence est supérieure à 2 secondes. Le premier regroupe majoritairement des sujets en TCP, significativement plus jeunes et dont le temps d'appui est significativement plus long que pour le second groupe. Ce travail ne permet pas de dire si le

risque de chute est plus important dans l'un ou l'autre groupe, mais tout travail ultérieur devrait prendre en compte cette différence.

En effet, la notion de pied, moteur ou pilier, prend un sens particulier dans la vision posturale des asymétries toniques [107-109]. C'est autour du pied pilier que pivoterait le sujet au cours du test de Fukuda [109] ; c'est de lui que se détournerait le regard dans le syndrome de déficience postural (Da Cunha) ; c'est celui que Boquet et al. [110] trouvent systématiquement impliqué dans les hémicrâniés. Pour Da Silva, un enfant désigne comme pied pilier celui sur lequel il s'appuie. Ainsi défini, il est homolatéral au pseudo-scotome directionnel caractéristique de l'hypertonie chez les jeunes dyslexiques avec des troubles posturaux.

Conclusion

Le temps de station unipodale permettrait, lorsque l'on demande à un sujet de se mettre à cloche-pied, de différencier le pied moteur du pied pilier. La prise en compte de ce temps devrait être systématique dans des recherches ultérieures et conduire à un traitement spécifique selon que le sujet est en technique de hanche ou de pied, et selon son âge et la différence des durées d'appui entre les deux pieds (surtout quand celles-ci sont inférieures à deux secondes).

La manœuvre d'antépulsion permet de définir, au-delà de 50 ans, un groupe de sujets en tactique de hanche, plus âgés que la moyenne des sujets en tactique de pied. Leur temps d'appui unipodal est court, proche de 5 secondes.

Ces tests sont validés pour discriminer le risque de chute : ne pas pouvoir maintenir la station unipodale 5 secondes les yeux ouverts multiplie par deux le risque de chute sur trois ans [104].

8.8. Le test de latéralité podale ou test de Hillel

Laurent Jaïs

La latéralité podale est intéressante à étudier, le pied étant moins sujet aux contraintes sociales pour la spécialisation motrice préférentielle que la main ; en outre, les activités utilisant le pied sont moins complexes que la main, et donc non comparables [111]. Les travaux de Gabbard sur les caractéristiques de la latéralité podale pendant l'enfance, avec la prévalence importante de l'ambipédie et de la latéralité droite, confirment qu'autant la latéralité manuelle est fluctuante jusqu'à un âge avancé, autant la dominance podale est déjà établie vers 5 ans dans 94 % des cas [112]. Le pied est un des principaux organes

de l'équilibre, durant les deux tiers de notre existence éveillée, avec une activité locomotrice monopodale pendant 40 % de notre station debout.

La dominance podale a un rôle biomécanique non négligeable sur notre posture. Afin de la déterminer rapidement, il est nécessaire de trouver un test simple qui prenne en compte les tâches simples et complexes avec toutes les possibilités gestuelles de force, précision, vitesse, verticalité, préhension, horizontalité, torsion, tangage, pivotement, roulis, dérive, etc. Ce test est complété, en cas de doute, par une grille de tests complémentaires (voir chapitre 3.3).

Dérivé du test de station unipodale de Tinetti (voir chapitre 8.7), **le test de Hillel**, baptisé ainsi en rapport à la parabole biblique, a pour intention de déterminer le pied postural dominant. Il est cohérent avec le modèle du pendule inversé [113, 114], où l'homme debout est assimilé à un pendule inversé pivotant autour des axes de ses articulations tibio-tarsiennes et sous-astragaliennes [115].

Procédure

Le sujet est debout, pieds nus, yeux clos, les bras le long du corps. Il lui est demandé de lever un pied et de le placer en arrière, dans le creux poplité. Trois essais consécutifs sont pratiqués en mesurant le temps avant que l'équilibre soit perdu. Le premier essai est éliminé et la moyenne des deux suivants est calculée. Le temps d'appui unipodal de l'autre pied est déterminé de la même façon. Une différence minimum de 2 secondes entre les deux moyennes permet de définir le pied non dominant – temps plus long – du pied dominant.

Discussion

Rares sont ceux qui ont demandé sur quel pied ils devaient se tenir en premier ; les autres se sont mis spontanément sur leur pied d'appui. Il existe parfois des discordances, notamment lors d'antécédents traumatiques des membres inférieurs. Dans ce cas, les tests complets décrits au chapitre 3.3 sont utilisés.

Conclusion

Le test de Hillel permet de déterminer rapidement la latéralité podale ; il demande à être étudié systématiquement afin de vérifier sa validité.

Bibliographie

L'épreuve posturo-dynamique : description, interprétation et évolution

1. Villeneuve P. L'épreuve posturo-dynamique. In Gagey, P.M., Weber, B., (sous la, dir., de) *Entrées du système postural, fin*. Masson, coll., Critique de la posturologie tome 1, 1995.
2. Salem W, Lenders C, Mathieu J, Hermanus N, Klein P. In Vivo three-dimensional kinematics of the cervical spine during maximal axial rotation. *Man Ther* 2013 Aug;18(4):339–44.

3. Penning L. Normal movements of the cervical spine. *American Journal of Roentgenology* 1978;130(2):317-26.
4. Penning L, Wilmink JT. Rotation of the cervical spine. A CT study in normal subjects. *Spine (Phila Pa 1976)* 1987 Oct;12(8):732-8.
5. Little JP, de Visser H, Pearcy MJ, Adam CJ. Are coupled rotations in the lumbar spine largely due to the osseo-ligamentous anatomy? A modeling study. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 2008 Feb;11(1):95-103.
6. Kuriyama N, Ito H. Electromyographic functional analysis of the lumbar spinal muscles with low back pain. *J. Nihon Med Sch* 2005 Jun;72(3):165-73.
7. Schuwer F, Villeneuve-Parpay S, Desenne P, Nouhet B, Villeneuve P. Analyse biomécanique des translations pelviennes en position debout. Conséquences cliniques. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et rachis*. Paris: Frison-Roche; 1998. p. 51-7.
8. Weber B, Villeneuve P, Villeneuve-Parpay S. Épreuve posturodynamique chez le sujet sain. Comparaison de sa cotation qualitative par plusieurs examinateurs. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre. Contrôle postural, pathologies et traitements, innovations et rééducation*. Marseille: Solal; 2002. p. 21-7.
9. Dubuis C, Millien B. Degré de concordance dans l'estimation, par deux podologues des tests posturodynamiques et morphostatiques. In: Villeneuve P, Weber B, editors. *Pied, équilibre et traitements posturaux*. Masson; 2002. p. 123-7.
10. Lemaire J, Morin D, Joyal C, Masse S. Fidélité, sensibilité et validation clinique de tests posturaux, posturostatiques et posturodynamiques. In: Villeneuve P, Weber B, editors. *Pied, équilibre et traitements posturaux*. Masson; 2002. p. 117-22.
11. Nouhet B. Validation de l'épreuve posturo-dynamique : essais et premiers résultats. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre. Pathologies, vieillissement, stratégies, modélisation*. Montpellier: Sauramps médical; 1998. p. 181-5.
12. Gagey PM, Weber B, Scheibel A, Bonnier L. Le syndrome de déficience posturale : analyse rétrospective d'observations cliniques. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre. Contrôle postural, pathologies et traitements, innovations et rééducation*. Marseille: Solal; 2002. p. 73-80.
13. Gagey PM, Weber B, Bonnier L, Boquet J, Cornu JY, Ferrey G, Marucchi C, Pichon J, Scheibel A, Toupet M, Villeneuve P, et Zamfiresco F. *Posturologie : Régulation et dérèglements de la station debout*. 3^e édition Masson; 2004. 200 pages.
14. Gagey PM, Weber B, Scheibel A, Bonnier L. A distinct clinical syndrome defining the postural patient. *Gait & Posture*. 2005;21(Sup.1):S121.
15. Villeneuve P, Schuwer F, Villeneuve-Parpay S. Évaluation de l'action posturale des orthèses plantaires. *Revue du podologue* 2007 Septembre-Octobre;17:12-6.
16. Villeneuve P, Ehring C, Kurzawa S, Weber B, Gagey PM. Plantar orthotics for patients with chronic low back pain (CLBP) decreases pain and improves spine function and mobility. 2012, ISPGR and Gait & Mental Function, joint world congress.
17. Jaïs L, Jaïs-Laloum L, Gagey PM. Le syndrome de décompensation posturale : comparaison de 3 types de prise en charge thérapeutique des répercussions posturales des troubles de l'occlusion dentaire. In: Thoumie P, Lacour M, editors. *De la recherche à la pratique clinique*. Solal; 2008. p. 245-66.
18. Marino A, Quercia P. Stimulations trigéminales bipolaires : vers une orthodontie neurosensorielle au cours de la dyslexie de développement. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique : Dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Masson; 2007. p. 76-81.
19. Villeneuve P, Villeneuve-Parpay S. Posturologie, un pont entre les thérapies fonctionnelles. *Orthomagazine* 2004;(54). Dossier : Orthodontie une rééducation de la tête aux pieds. 20-24.
20. Quercia P, Fourage R, Guillaume L, Marino A, Quercia M, Saltarelli S. Traitement proprioceptif et dyslexie, Ed AF3dys 2008, 623 pages.

21. Villeneuve Parpay S, Weber B, des Cloizeaux L, Villeneuve P. (2012) Retentissement postural des soins de pédicurie : évaluation clinique par l'épreuve posturodynamique (étude multicentrique). In: Pérennou D, Nougier V, Honoré J, Lacour M, editors. *Posture et équilibre : contrôle postural, espace, locomotion*. de Bœeck: Solal; 2012. p. 107–16.
22. Buckinx C, Villeneuve P. Apport du traitement manuel neural dans les algies du péri-née. *Mains Libres* 2015;(5.2):199–207.
23. Cordier G, Joris M. Apport des thérapies neurales du plexus brachial dans les dysfonctions cervico-thoraciques. *Revue de médecine Manuelle Ostéopathique* 2012;(39):24–7.
24. Jais L, Gagey PM. Fibromyalgie et syndrome de décompensation posturale : étude clinique et posturographique. *Neurophysiologie clinique* 2011;41(4):216.
25. Villeneuve P. Examen clinique de la scoliose idiopathique de l'adolescent. L'apport de la posturologie à travers un test : l'épreuve posturodynamique. *Kiné point Doc* octobre 2008;(3):65–72.
26. Villeneuve P. Dysfonctions neurales, algies posturales et neurostimulations manuelles. Apport du traitement manuel neural dans la douleur chronique. Clinique et traitement, méthodologie illustrée avec le nerf fibulaire profond. *La Revue de l'Ostéopathie* 2013;(4-2):35–42.
27. Villeneuve P, Desenne P, Nouhet B, Schuwer F, Villeneuve-Parpay S. Le syndrome de déficience posturale est-il objectivable cliniquement ? In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et rachis*. Frison-Roche; 1998. p. 209–21.
28. Leporck AM, Villeneuve P. Les épines irritatives d'appui plantaire ; objectivation clinique et stabilométrique. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Paris: Frison-Roche; 1996. p. 131–8.
29. Nouhet B, Villeneuve-Parpay S, Villeneuve P. La comparaison des enregistrements stabilométriques sur sol dur et sur sol mousse est-elle utilisable en pratique clinique ? *Podologie*, 1995, Expansion Scientifique Française.
30. Pradels A, Pradon D, Hlavačková P, Diot B, Vuillerme N. Sensory Re-Weighting in Human Bipedal Postural Control: The Effects of Experimentally-Induced Plantar Pain. *PLoS One* 2013 Jun 26;8(6):e65510.
31. Foisy A, Kapoula Z. *How Plantar Exteroceptive Efficiency Modulates Postural and Oculomotor Control : Inter-Individual Variability*. *Hum Neurosci* 2016 May 13; 10:228.
32. Kleinrensink GJ, Stoeckart R, Meulstee J, Kaulesar Sukul DM, Vleeming A, Snijders CJ, van Noort A. *Lowered motor conduction velocity of the peroneal nerve after inversion trauma*. *Med Sci Sports Exerc* 1994 Jul;26(7):877–83.
33. Banic B, Petersen-Felix S, Andersen OK, Radanov BP, Villiger PM, Arendt-Nielsen L, Curatolo M. Evidence for spinal cord hypersensitivity in chronic pain after whiplash injury and in fibromyalgia. *Pain* 2004 Jan;107(1–2):7–15.
34. Aggarwal VR, McBeth J, Zakrzewska JM, Lunt M, Macfarlane GJ. The epidemiology of chronic syndromes that are frequently unexplained: do they have common associated factors? *Int J Epidemiol* 2006 Apr;35(2):468–76. Epub 2005 Nov 22.
35. Yunus MB. Central sensitivity syndromes: a unified concept for fibromyalgia and other similar maladies. *J Indian Rheumatism Assoc* 2000;8(1):27–33.
36. Mayer TG, Neblett R, Cohen H, et al. The development and psychometric validation of the central sensitization inventory. *Pain Pract* 2012;12(4):276–85.
37. Kramis RC, Roberts WJ, Gillette RG. Non-nociceptive aspects of persistent musculoskeletal pain. *J Orthop Sports Phys Ther* 1996 Oct;24(4):255–67.
38. Giesecke T, Gracely RH, Grant MA, Nachemson A, Petzke F, Williams DA, Clauw DJ. Evidence of augmented central pain processing in idiopathic chronic low back pain. *Arthritis Rheum* 2004 Feb;50(2):613–23.
39. Sterling M, Jull G, Vicenzino B, Kenardy J. Sensory hypersensitivity occurs soon after whiplash injury and is associated with poor recovery. *Pain* 2003 Aug;104(3):509–17.

40. Schliessbach J, Arendt-Nielsen L, Heini P, Curatolo M. The role of central hypersensitivity in the determination of intradiscal mechanical hyperalgesia in discogenic pain. *Pain Med* 2010 May;11(5):701–8.
41. Fernández-de-Las-Peñas C, Ortega-Santiago R, Ambite-Quesada S, Jiménez-García AR, Arroyo-Morales M, Cleland JA. Specific mechanical pain hypersensitivity over peripheral nerve trunks in women with either unilateral epicondylalgia or carpal tunnel syndrome. *J Orthop Sports Phys Ther* 2010 Nov;40(11):751–60. doi : 10.2519/jospt.2010.3331.
42. Fernández-de-las-Peñas C, Galán-del-Río F, Fernández-Carnero J, Pesquera J, Arendt-Nielsen L, Svensson P. Bilateral widespread mechanical pain sensitivity in women with myofascial temporomandibular disorder: evidence of impairment in central nociceptive processing. *J Pain* 2009 Nov;10(11):1170–8.
43. Bendtsen L. Central sensitization in tension-type headaches – possible pathophysiological mechanisms. *Cephalalgia* 2000;20:486–508.
44. Tajti J, Vecsei L. The mechanism of peripheral and central sensitization in migraine. A literature review. *Neuropsychopharmacol Hung* 2009 Mar;11(1):15–21.
45. Burgmer M, Petzke F, Giesecke T, Gaubitz M, Heuft G, Pfleiderer B. Cerebral activation and catastrophizing during pain anticipation in patients with fibromyalgia. *Psychosom Med* 2011 Nov-Dec;73(9):751–9.
46. Frasson E, Graziottin A, Priori A, Dall'ora E, Didonè G, Garbin EL, Vicentini S, Bertolasi L. Central nervous system abnormalities in vaginismus. *Clin Neurophysiol* 2009 Jan;120(1):117–22.
47. van der Velde J, Laan E, Everaerd W. Vaginismus, a component of a general defensive reaction. an investigation of pelvic floor muscle activity during exposure to emotion-inducing film excerpts in women with and without vaginismus. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 2001;12(5):328–31.
48. Verne GN, Price DD. Irritable bowel syndrome as a common precipitant of central sensitization. *Curr Rheumatol Rep* 2002 Aug;4(4):322–8.
49. Creath R, Kiemel T, Horak F, Jeka JJ. The role of vestibular and somatosensory systems in intersegmental control of upright stance. *J Vestib Res* 2008;18(1):39–49.
50. Shupert CL, Horak FB, Black FO. Hip sway associated with vestibulopathy. *J Vestib Res*. 1994 May-Jun;4(3):231–44.

Le test du positionnement des index, Romberg postural

51. Romberg MH. *Lehrbuch der Nervenkrankheiten des Menschen*. Berlin A: Dunker; 1846.
52. Prades JM, Laurent B, Navez ML. *Anatomie clinique du système nerveux central*. Paris: Masson; 1999. 114-123.
53. Gagey PM, Asselain B, Ushio N, et Baron JB. Les asymétries de la posture orthostatique sont-elles aléatoires ? *Agressologie* 1977;18(5):277–84.
54. Matheron E. Hétérophories verticales et normalisation myotonique, K2 n°398 mars 2000.
55. Gagey PM, Weber B. *Posturologie : régulation et dérèglements de la station debout*. 2^e édition Masson; 1999. 40-41 ; 86 collection Bois –Larris.
56. Bourgeois P. Évolution clinique de la posture de l'enfant de 8 à 10 ans. In: Dupui P, Lacour M, editors. *Posture et équilibre : Physiologie, techniques, pathologies*. Montpellier: Solal; 2003. p. 143–50.
57. Bourgeois P. Évolution de la posture de l'enfant et de l'adolescent de 8 à 21 ans. Sport et cognition. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Masson; 2007. p. 20–35.
58. Villeneuve P, Villeneuve S. *Émotions, tonus musculaire et régulation posturale. La face comme témoin privilégié*. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Tonus, posture et attitudes*. Paris: Masson; 2010. p. 37–8.

59. Assaiante C. Construction du contrôle postural au cours de l'ontogenèse : concepts et résultats expérimentaux chez l'enfant sain et pathologique. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Tonus, posture et attitudes*. Masson; 2010.
60. Blaszczyk J. Sway ratio - A new measure for quantifying postural stability. *Acta neurobiologiae experimentalis* February 2008;68(1):51-7.
61. Yang F, Espy D, Pai YC. Feasible stability region in the frontal plane during human gait. *Ann Biomed Eng* 2009 Dec;37(12):2606-14.

Le test des rotateurs

62. Autet BM. *Examen ostéopathique prenant en compte l'activité tonique posturale*. Montpellier: Mémoire de la Sereto; 1985.
63. Exposito Marc – *Appareil manducateur : corrélation des données cliniques du test des rotateur et du test de Fukuda*. Mémoire de DIU de Posturologie clinique, Faculté Paris VI (2011).
64. Scheibel A, Exposito M, Gagey PM, Weber B. Concordance entre deux évaluations cliniques du tonus postural, le test des rotateurs et le test de piétinement de Fukuda <http://ada-posturologie.fr/Exposito.pdf>.
65. Sylvain Isabelle. *L'étirement de l'ATM a-t-il une influence sur le test de Fukuda ?* Mémoire de DIU de Posturologie clinique, Faculté Paris VI (2015) ; 28 pages.
66. Thomé E. *Concordance entre deux évaluations cliniques du tonus postural, le test des rotateurs et le test de piétinement de Fukuda et l'effet d'un traitement ostéopathique sur les globes oculaires*. Mémoire de DIU de Posturologie clinique. Faculté Paris VI (2015) ; 63 pages.
67. Mathurin B. Le test des rotateurs : recherche de l'asymétrie tonique segmentaire. In: Lacour M, Weber B, editors. *Posture et équilibre, Bipédie, contrôle postural et représentation corticale*. Marseille: Solal; 2005. p. 289-93.
68. Éric Florin et le groupe Parisien de l'APE. *Le mystère des rotateurs*. <http://ada-posturologie.fr/MystereRotateurs.htm>.
69. Scheibel A, Weber B. L'intégralité de la procédure de Meerssman est-elle nécessaire à l'examen clinique de l'articulation temporo-mandibulaire ? In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre*. Nouveautés 2001, conceptuelles, instrumentales et cliniques. Solal; 2001.
70. Bonnier L, Marino A, Weber B. Pour un dialogue nécessaire entre posturologues et occlusodontistes : proposition d'un protocole d'examen. In: Dupui P, Montoya R, Lacour M, editors. *Posture et équilibre : Physiologie, techniques, pathologies*. Marseille: Solal; 2003. p. 51-60.
71. Bonnier LR. La modification de l'occlusion a-t-elle une répercussion immédiate sur le système postural fin ? In: Lacour M, Gagey PM, Weber B, editors. *Posture et environnement*. Montpellier: Sauramps médical; 1997. p. 77-86.
72. Weber B. *Reproductibilité partagée*, 2007.
73. Jaïs L, Weber B. La meilleure façon de piétiner : comparaison de deux procédures de l'épreuve de Fukuda. In: Lacour M, Dupui P, editors. *Posture et équilibre*. Marseille: Solal; 2003. p. 81-9.

La manœuvre de convergence podale

74. Parpay S, Villeneuve P. Examen clinique postural. *Rev podologie* 1991;59:37-44.
75. André-Thomas, de Ajuriaguerra J. *Étude sémiologique du tonus musculaire*. Flammarion, 1949, 843 pages.
76. André-Thomas, de Ajuriaguerra J. *L'axe corporel musculature et innervation*. Masson; 1948. 538 pages.
77. Gagey PM, Bizzo G, Bonnier L, Gentaz R, Guillaume P, Marucchi C, Villeneuve P. Huit leçons de posturologie, Association Française de Posturologie, 1990.
78. Walsh EG, Wright GW. Postural thixotropy at the human hip. *Quart. J. Exp. Physiol.* 1988;73:369-78.

79. Bergès J. Examen du tonus – Sémiologie du tonus. In: Lebovici, Diatkine R, Soulé M, editors. *Nouveau traité de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent*. Paris: PUF; 1989. p. 673.
80. Gagey PM, Asselain B, Ushio N, Baron J-B. Les asymétries de la posture orthostatique sont-elles aléatoires ? *Agressologie* 1977;18(5):277-83.
81. Magnus R. *Körperstellung*. Berlin: Springer; 1924.
82. Gagey PM, Baron J-B. Influence des mouvements oculaires volontaires sur le test de piétinement. *Agressologie* 1983;24:117-8.
83. Villeneuve P, Marino A, Fantilli F. Applicazione clinica dei riflessi posturali. In: da Cunha HM, Cesarani A, Ciancaglini R, Lazzari E, Sibilla P, editors. *Postura, occlusione, rachide. Approccio clinico e strumentale*. ed CPA; 1995. p. 303-8.
84. Villeneuve P, Jongit N, Villeneuve-Parpay S. Détermination du seuil maximal et minimal des baropresseurs podaux entraînant une variation du tonus postural. 9^e Réunion SERMLO Laboratoire de physiologie du mouvement CNRS-URA 631 Université Paris-sud XI. 1992

Le test des pouces

85. Piedallu P. *L'ostéopathie, ses rapports avec la gymnastique analytique*. Bordeaux: Bière; 1947.
86. Bassani B. Les sciatiques et la vertébrothérapie. *Actes des cinquièmes journées d'acupuncture et de vertébrothérapie* – Vichy, 1965, de Bussac, Clermond-Ferrand, 57-61, 1966.
87. Quaglia-Senta A. Anatomophysiologie du réflexe auriculaire. *VI^e journées internationales d'acupuncture, de réflexothérapie auriculaire et de médecine manuelle de Lyon*. Sainte-Ruffine: Maisonneuve; 1966. p. 173-87.
88. Fournier C. Le test des pouces postural. Ou signe des pouces montants. *Ann. Kinésithér* 1993;20:315-7.
89. Gagey PM, Weber B. *Posturologie, régulation et dérèglements de la station debout*. 40-41 ; 86 collection Bois-Larris, Masson, 3^e édition, 2003

Les tests d'antépulsion passive et d'antériorisation active.

90. Nashner LM, et Mc Collum G. The organisation of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behav. Brain Sci* 1985;8:135-72.
91. Horak FB, et Nashner LM. Central programming of postural mouvements: adaptating to altered support-surface configurations. *J. neurophysiol* 1986;55(6):1369-81.
92. Horak FB, Nashner LM, Diener HC. Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Exp Brain Res* 1990;82(1):167-77.
93. Woolacott MH. Gait and postural control in the aging adult. In: Bles W, Brandt Th, editors. *Disorders of posture and gait*. Amsterdam: Elsevier; 1986. p. 325-36.
94. Villeneuve-Parpay S, Villeneuve P, Weber B. Mise en évidence clinique de la stabilisation posturale en fonction de l'appui plantaire : test d'antépulsion passive. In: Hérisson C, Cornu J-Y, Aboukrat P, Belhassen S, editors. *Pied et posturologie*. Montpellier: Sauramps médical; 2001. p. 175-83.
95. Villeneuve-Parpay S, Villeneuve P, Weber B. Test d'antépulsion et d'antériorisation. recherche clinique de la tactique d'équilibration. Perspectives thérapeutiques. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Pied, équilibre et traitements posturaux*. Paris: Masson; 2003. p. 104-10.
96. Villeneuve-Parpay S, Weber B, Villeneuve Ph. Analyse semi-quantitative des stratégies d'équilibration : position de la hanche et de l'épaule dans le test d'antériorisation active. In: Dupui P, Montoya R, Lacour M, editors. *Posture et équilibre. Physiologie, techniques, pathologies*. Marseille: Solal; 2003. p. 71-9.
97. Gagey PM, Bizzo G, Ouaknine M, Weber B. La tactique du pied. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Pied, équilibre et traitements posturaux*. Paris: Masson; 2003. B16-21.

98. Weber B. Stratégie et tactiques du système postural fin. In: Gagey PM, Weber B, editors. *Entrées du système postural fin*. Paris: Masson; 1995. p. 139–46.
99. Leblanc V, Villeneuve P, Boucher J, Villeneuve-Parpay S, et Thoumie P. Objectivation ataxiométrique du test clinique d'antépulsion passive. In: Lacour M, Weber B, editors. *Bipédie, contrôle postural et représentation corticale*. coll. Posture & Équilibre: Solal; 2005. p. 281–8.

Le temps d'appui unipodal.

100. Haute Autorité de Santé (2012) – *Référentiel concernant l'évaluation du risque de chutes chez le sujet âgé autonome et sa prévention*. Service documentation – information des publics, www.has-sante.fr.
101. Weber B, Villeneuve-Parpay S. Temps d'appui unipodal et test d'antépulsion passive. Recherche multicentrique d'une relation possible. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique. Dysfonctions motrices et cognitives*. Elsevier Masson; 2007. p. 113–20.
102. Weber B, et al. Au-delà de la cinquantaine, le temps d'appui unipodal est parfois différent sur le pied moteur et sur le pied pilier. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique. Dysfonctions motrices et cognitives*. Elsevier Masson; 2007. p. 121–8.
103. Tinetti ME. *Fall risk index for elderly patients based on number of chronic disabilities*. Am J Med 1986;80:429–34.
104. Vellas BJ, Wayne SJ, Romero I, Baumgartner RN, Gary PJ. *One-leg balance is an important predictor of injurious falls in older persons*. I am Geriat Soc 1997;45:739–45.
105. Vellas BJ, Wayne SJ, Romero I, Baumgartner RN, Gary PJ. *Fear of falling and restriction of mobility in elderly fallers*. Age Ageing 1997;26:189–93.
106. Herndon JG, et al. *Chronic medical conditions and risk of fall injury events at home in older adults*. 1997 ; 45 : 739–43.
107. Jaïs L. Posture et latéralité : De la latéralité en général et podale en particulier (intérêt du test de Hillel). In: Lacour M, editor. *Nouvelles méthodes de traitement du signal posturologique*. Marseille: Solal; 2004. p. 167–74.
108. Gagey PM. *Pied pilier et pied moteur*. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et rachis*. Paris: Frisson-Roche; 1998. p. 165–76.
109. Gagey PM, Asselin B, Ushio N, Baron JB. *Les asymétries de la posture orthostatique sont-elles aléatoires ?* Agressologie 1977;18:277–83.
110. Boquet J, Briannic G, Lamy JC, Bohu PA. *Probable role of an asymmetrical posture in hemicrania and lateralised facial pain*. Fonct. Neurol 1998;13(2):153. b.

Le test de latéralité podale ou test de Hillel

111. Peters M. Neuropsychological identification of motor problems: Can we learn something from the feet and legs that hands and arms will not tell us? *Neuropsychol Rev* 1990;1:165–83.
112. Gabbard C. *Associations between hand and foot preference in 3-to 5 year-olds*. Cortex 1992;28:1–7.
113. Tinetti ME. Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J Am Geriatr Soc* 1986;34(2):119–26.
114. Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture* 1995;3:193–214. December.
115. Gagey PM, Bizzo G, Ouaknine M, Weber B. (2003) *Deux modèles mécaniques de stabilisation posturale : la tactique du centre de gravité et la tactique du centre de pression*. <http://ada-posturologie.fr/TactiqueDuPied.htm>.

CHAPITRE 9

Épreuves dynamiques

9.1. Le test de piétinement

Alain Scheibel

À la recherche d'une ataxie labyrinthique, ce test est proposé par S. Unterberger [1], puis par C. Hirsch, qui le nomme le *Waltzing test* [2], enfin par T. Fukuda [3], la tête en position neutre, les bras tendus à l'horizontal. Il est modifié plus tard par J.B. Baron et P.M. Gagey [4,5] pour mesurer l'asymétrie tonique. Associée à la même épreuve, la tête en rotation droite puis gauche [4,5], une méthodologie de calcul des gains nucaux et de la prévalence tonique permet de mesurer plus précisément l'expression de l'asymétrie tonique que la seule épreuve tête en position neutre.

Tout sujet normal qui piétine sur place les yeux fermés tourne sur lui-même de 20° à 30° au maximum en cinquante pas [1,3,6]. Les déplacements dans le plan sagittal ou frontal du sujet ne sont pas reproductibles, à l'inverse de l'angle de rotation du corps – ou spin – dans le plan horizontal [7].

Lorsqu'un sujet sain tourne la tête à droite, le tonus de ses muscles extenseurs du membre inférieur droit augmente, et inversement pour la gauche. Ainsi, lorsque le sujet répète le test en gardant la tête tournée à droite, il pivote davantage vers sa gauche que lorsqu'il avait exécuté le test en gardant la tête en position neutre ; on constate le phénomène inverse pour le côté gauche. Cette manœuvre teste donc le tonus musculaire sur son propre terrain puisque sa variation est provoquée par un réflexe tonique postural [8,9].

Traditionnellement, le sujet tend les bras devant lui, parallèles. En fait, pratiqué les bras ballants naturellement le long du corps, le test donne chez des témoins [10-12] des valeurs de spin comparables à celles obtenues les bras tendus : il n'existe pas de différence significative des spins (mesurés au goniomètre) entre les deux procédures, que ce soit en tête neutre ou sur la prévalence des gains nucaux. Il existe, par contre, une corrélation significative entre la position moyenne en tête neutre et la prévalence, que le spin soit normal ($\leq 30^\circ$) ou hors norme ; mais sa variabilité d'un sujet à l'autre ne confère aucune valeur prédictive pour un sujet donné à la valeur du spin, tête en position neutre. Pour ces deux paramètres, la reproductibilité globale des mesures, à une semaine d'intervalle, est moins nette pour un individu donné que pour les données moyennes.

Procédure

Le patient a la tête en position neutre, ni tournée, ni penchée, et immobile [8,13]. Il est placé face à une verticale située entre 3 et 5 mètres, les yeux en position primaire [14], en posture mandibulaire habituelle (voir chapitre 8.1), les pieds nus. Les bras sont soit pendants le long du corps, soit tendus devant lui. Le praticien, derrière lui, place un métronome, réglé de 72 à 84 battements par minute [15,16] et regarde toujours au même endroit, la 7^e cervicale par exemple. Il demande au sujet de piétiner sur place en fléchissant les hanches à 45° environ, sans balancer les bras [10,11,12]. Le mouvement débute après que le sujet a fermé les yeux sur ordre du praticien, et s'arrête après 50 pas. Le praticien mesure alors l'angle formé par les bissectrices entre les deux pieds au départ et à l'arrivée (figure 9.1).

Précautions

Afin de standardiser l'épreuve, les consignes décrites précédemment sont à respecter. En outre, toute source sonore ou lumineuse dans la pièce est à proscrire car elle pourrait indiquer une direction et représenter une contrainte sérieuse. Le praticien doit ainsi suivre le mouvement de spin et le déplacement éventuel du sujet.

Le sujet a pour consigne d'effectuer la manœuvre mécaniquement, sans réfléchir ni tenir compte de la rotation ou du déplacement, qu'il constate parfois à la fin avec surprise.

L'épreuve est recommencée sous l'influence du réflexe nuchal après occlusion des yeux, tête en rotation droite puis gauche [17], ou inversement ; l'ordre doit toujours être identique pour chaque sujet (figure 9.1). Les valeurs des angles sont notées : tête neutre (TN), tête droite (TD) et tête gauche (TG).

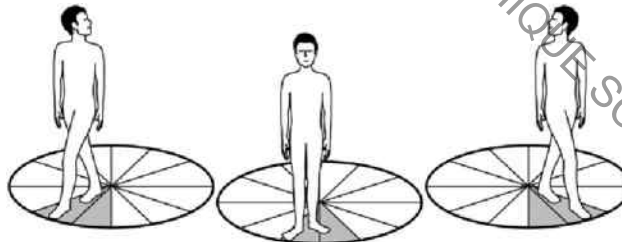


FIGURE 9.1. Test de piétinement sous l'influence du réflexe nuchal.

Ce test peut être effectué les bras ballants [10-12].

D'après Liebenson et Gagey, *Rehabilitation of the spine*, William et Wilkins, 1995.

Calcul des gains et de la prévalence

Arbitrairement, un spin sur la droite sera associé à un signe positif, et un spin sur la gauche à un signe négatif. Le gain droit sera positif si le spin est d'avantage sur la gauche que l'angle mesuré en tête neutre et négatif s'il ne l'est pas ;

inversement pour le gain gauche. Pour le calcul de la prévalence, si les deux gains sont positifs, la différence des valeurs est calculée et le côté le plus fort est choisi ; si les deux gains sont négatifs, le côté le plus faible est choisi. Dans le cas de gains de signes contraires, la somme des deux valeurs est calculée et le côté de la prévalence est celui du côté du gain positif.

Exemple 1

En tête neutre, le patient effectue un spin de son corps, après 50 pas, de 30° vers la droite. $TN = +30$.

Tête en rotation droite, il effectue, après 50 pas, un spin de 20° vers la droite, $TD = +20$. Le réflexe nucal s'exprime du bon côté, par rapport au résultat de sa tête en position neutre, le gain est noté positif et sa valeur est de 10°. $GD = +10$ °.

Tête en rotation gauche, il effectue, après 50 pas, un spin de 50° vers la droite, $TG = +50$. Le réflexe nucal s'exprime du bon côté, par rapport au résultat de sa tête en position neutre, le gain est noté positif et sa valeur est de 20°. $GG = +20$ °.

Les deux gains étant positifs, la valeur de la prévalence s'obtient en calculant la différence des gains : $+20 - 10 = 10$. Le côté le plus fort est choisi, soit G. D'où : $Prév. = G10$.

Exemple 2

Le patient présente :

- un spin en TN de 50° vers la gauche. $TN = - 50$;
- un spin en TD de 70° vers la gauche. Le réflexe nucal s'exprime du bon côté, par rapport à TN, le gain est noté positif et sa valeur est de 20°. $GD = +20$ ° ;
- un spin en TG de 70° vers la gauche. Le réflexe nucal s'exprime du mauvais côté, par rapport à TN, le gain est noté négatif et sa valeur est de 20°. $GG = - 20$ °.

Comme les deux gains sont de signe contraire, la valeur de la prévalence est égale à la somme de la valeur des gains ($20 + 20 = 40$) et le côté du gain positif est choisi, soit D. D'où : $Prév. = D40$.

Exemple 3

Le patient présente :

- un spin en TN de 10° vers la droite. $TN = +10$;
- un spin en TD de 40° vers la droite, $TD = +40$. Le réflexe nucal s'exprime du mauvais côté, par rapport à TN, le gain est noté négatif et sa valeur est de 30°. $GD = - 30$ ° ;
- un spin en TG de 50° vers la gauche, $TG = - 50$. Le réflexe nucal s'exprime du mauvais côté, par rapport à TN, le gain est noté négatif et sa valeur est de 60°. $GG = - 60$ °.

Comme les deux gains sont négatifs, la valeur de la prévalence est égale à la différence des gains ($-60 - (-30) = - 30$) et le côté le plus faible est choisi, soit D. D'où : $Prév. = D30$.

Bien que la prévalence ne soit pas ici hors norme, les deux gains ne sont pas physiologiques. Le stimulus thérapeutique devra rétablir au moins un des deux gains positif.

Prisme postural

Lorsque le bilan clinique oriente vers la pose d'un prisme postural, le thérapeute peut gagner du temps en utilisant la loi des Canaux [14]. Elle met en relation le côté de la prévalence, calculé grâce au test de Fukuda, avec seulement six des douze muscles oculomoteurs. Ceux-ci sont alors soumis au test des rotateurs (voir chapitre 8.3) – ou tout autre test – qui qualifie la variation du tonus. Un deuxième test de piétinement quantifiera l'amélioration immédiate. La direction et la puissance du prisme retenu seront celles qui permettront la variation la plus importante, dans le sens d'une correction. Les effets de ce ou ces prismes seront évalués par les autres épreuves. L'orthoptiste choisira ensuite, parmi ceux détectés au bilan posturologique, la direction et puissance du prisme à poser en fonction de son bilan. L'ophtalmologiste, enfin, validera ou non la prescription.

Discussion

Lorsque les gains des réflexes nucaux sont tous les deux « négatifs » selon les conventions exposées, que penser ? On admet actuellement que la prépondérance doit être accordée au réflexe qui est le plus proche de la réaction physiologique, mais aucun argument solide ne justifie pour le moment cette attitude pratique [14].

Les dernières recherches cliniques sur le sujet [11,12] confirment les données déjà publiées. Elles permettent d'avancer que le spin en tête neutre considéré comme normal est de l'ordre de 30° et qu'au-delà de 50°, le gain est anormal. Les procédures des bras, ballants ou tendus devant soi, semblent équivalentes [11]. Si le spin en tête neutre semble bien lié statistiquement à la prépondérance du gain nucal, contrairement à ce qu'avait cru observer L. Jaïs, cette relation n'est en pratique clinique aucunement prédictible de la situation d'un individu en particulier [12]. Cette remarque est d'ailleurs vraie pour l'ensemble des données observées chez les sujets jeunes exempts de troubles posturaux, recrutés pour ces travaux. Une a-normalité de réponse appelée en clinique posturologique sa confrontation avec l'ensemble des conditions dans lesquelles elle a été obtenue et à la situation particulière du sujet concerné.

Conclusion

Bernard Weber

Ce test, le plus renseigné de toutes les épreuves à notre disposition, apparaît comme mériter la place de référence qui lui est généralement reconnue parmi les examens cliniques des asymétries posturales. La fiabilité qu'il est possible de lui accorder dépend cependant de la rigueur du protocole utilisé, conforme aux premières descriptions de Fukuda. La position des bras peut, sans inconvénient et probablement avec avantages, être laissée dans leurs situations physiologiques, sans consignes particulières.

Il représente alors une condition privilégiée d'examen du SPA, permettant la recherche d'asymétries toniques en position debout quasi statique puisque chaque pas maintient durant tout le test le centre de pression dans les limites du polygone de sustentation et donc aligné avec le centre de gravité [9].

9.2. Les trois roulades avant les yeux fermés

Pascal Bourgeois

Dépister des asymétries de la posture pourrait nécessiter une très bonne connaissance des modes d'entrée du système postural d'aplomb qui gère l'équilibre statique et serait l'apanage des spécialistes. Toutefois, ces asymétries de la posture, qui peuvent être la résultante d'une légère perturbation du système d'aplomb, se manifestent également à travers la motricité. Fukuda l'avait montré par le test de piétinement (voir chapitre 9.1), test validé [18] et reproductible quel que soit l'examineur.

Afin de lui permettre d'identifier des problèmes de posture, il faut fournir à l'enseignant d'EPS des outils simples, rapides et reproductibles, utilisables lors de son enseignement. La roulade avant, couramment utilisée en éducation physique et sportive, semble permettre un tel dépistage.

Ce test, non opérateur dépendant, permet de mesurer l'asymétrie tonique posturale d'un sujet à travers un mouvement gymnique simple.

Procédure

Ce test moteur, basé sur les mêmes principes méthodologiques qu'un test clinique, doit contrôler le maximum d'éléments.

Des tapis de gymnastique, placés sur un plan horizontal, sont disposés de telle façon que l'élève ne puisse pas prendre de repères kinesthésiques sur le rebord ou l'assemblage des tapis. Pour ne pas influencer le sujet dans l'orientation du mouvement, il est souhaitable de le faire partir au milieu d'un tapis lorsque la surface est constituée de tapis joints côte à côte.

Afin de mesurer une déviation éventuelle, des repères sont inscrits sur les tapis. Une bande passant entre les 2 pieds au départ est collée ou marquée à la craie. Elle se situe dans l'axe de la cible visuelle.

Au départ, le sujet est accroupi, la tête en position neutre, ni tournée, ni inclinée, les yeux regardent droit devant. Pour l'expérimentation, une cible a été placée à 10 m, à hauteur des yeux, dans l'axe dessiné sur le tapis. La mâchoire est relâchée en posture mandibulaire. Les talons sont serrés, l'ouverture des pieds est de 45°. Les mains et bras, parallèles au sol, sont tendus. L'absence de sources

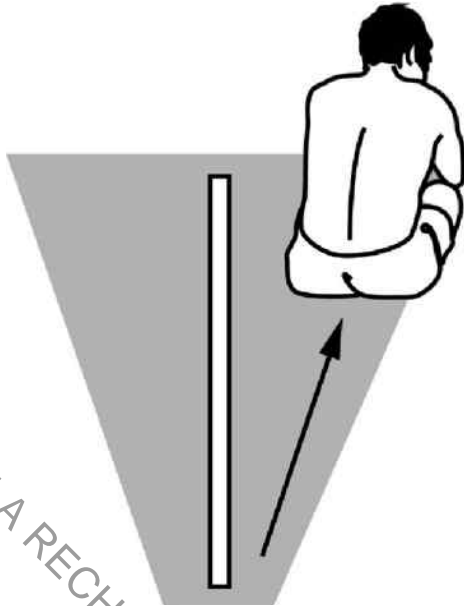


FIGURE 9.2. La roulade avant est pratiquée yeux fermés, départ en position accroupie, sur un tapis de gymnastique. La déviation est mesurée en centimètres à la fin de la 3^e roulade, entre les axes passant entre les deux pieds au départ et à la fin du mouvement.

sonores ou lumineuses est vérifiée. Le test a été exécuté sans verres correcteurs, les sujets avec lentilles les ont conservées.

Les trois roulades successives demandées démarrent 5 secondes après l'occlusion des yeux.

À la fin du mouvement, le sujet se retrouve accroupi ou debout sans bouger les pieds. La déviation est déterminée par la distance, mesurée en centimètres, entre l'axe de départ et l'axe médian passant entre les 2 pieds à l'arrivée (figure 9.2) [19-22].

La manœuvre est considérée comme « normale » lorsque le sujet effectue les trois roulades avant dans l'axe dessiné sur le tapis.

Sur cet échantillon de 735 élèves, une Anova à 2 facteurs (sexe et âge) est calculée. Afin d'établir des relations entre les trois tests décrits au chapitre 15.1 et ce test, une régression linéaire généralisée est également pratiquée.

Résultats

Il n'existe pas de différence significative des déviations entre les deux sexes, et ce quel que soit l'âge ; filles et garçons sont donc regroupés. Un échantillon de 150 élèves, 78 garçons et 72 filles, âgés de 11 à 17 ans, a effectué deux tests successifs à 1 minute d'intervalle environ. La différence des moyennes entre ces 2 tests appariés est non significative ($p = 0,32$) et montre la reproductibilité de la mesure.

Après la 3^e roulade, 59,5 % des enfants dévient de moins de 20 cm, 26,7 % dévient entre 20 cm et 40 cm, et 13,8 % de plus de 40 cm.

Les résultats, présentés en annexes, concernent une classe d'âge d'élèves de collège et de lycée, entre 11 et 18 ans, exempts de blessure dans l'année précédente, qui ont pratiqué entre 10 et 40 heures de gymnastique pendant leur cursus d'éducation physique. Cet échantillon ne tient pas compte d'éventuels problèmes posturaux, fréquents à ces âges, en rapport avec une entrée du système d'aplomb ou une interférence mandibulaire. Un effet d'âge significatif ($p < 0,001$) est observé entre 13 et 14 ans ; la dispersion y est la plus grande de toutes les classes d'âge.

Lorsque ce test est proposé à une population d'enfants gymnastes, la déviation semble moins importante. Ce fait, déjà montré sur un échantillon d'étudiants en Staps, confirme le poids de l'apprentissage et de la répétition du geste sur la correction volontaire d'un acte moteur.

Corrélation et effets entre les tests cliniques et le test des 3 roulades avant

Les effets de la roulade avant sont significatifs sur les déviations observées lors du test de Fukuda la tête neutre ($p = 0,05$) et très significatifs sur les gains nucaux ($p = 0,0006$). Ils ne le sont pas avec les tests de la verticale de Barré ou de la manœuvre de positionnement des index de Baron. Ainsi, les tests dynamiques semblent davantage « corrélés » entre eux.

Conclusion

Avec le test de piétinement (voir chapitre 9.1), la verticale de Barré (voir chapitre 7.1) et le Romberg postural (voir chapitre 8.2), le test des trois roulades avant, les yeux fermés, fait partie des quatre tests utilisés pour l'observation des rapports entre les asymétries de la posture pendant la croissance, les troubles cognitifs et les résultats scolaires [22-24] (voir chapitre 15.1).

Le test de la roulade avant les yeux fermés peut permettre le dépistage d'asymétries de la posture en milieu sportif ou scolaire. Il faut cependant rester prudent sur son interprétation lorsqu'il s'agit de personnes expertes en gymnastique, celles-ci pouvant avoir appris à corriger les déviations induites par l'asymétrie tonique. Ce test, reproductible et non opérateur dépendant, peu influencé par l'âge et le sexe, est simple à mettre en place et peut s'effectuer aisément en cours d'éducation physique. Corrélé au test de piétinement de Fukuda-Unterberger, le test des trois roulades peut être facilement utilisé par des enseignants en éducation physique. Au-delà de 40 cm, on peut considérer la déviation comme « anormale ». Comme pour les valeurs « hors norme » des trois autres tests, ce test pourrait permettre de suspecter une anomalie tonique à surveiller afin d'éviter des troubles de croissance, tant physiques que cognitifs.

9.3. Le test de nage

Alain Scheibel, Bernard Weber

Pendant la pratique de son activité, de détente ou de sport, un nageur constate souvent qu'il a dévié de sa trajectoire après avoir fermé les yeux pendant quelques secondes. Yeux ouverts ou fermés, ce constat est renforcé en pleine mer, où il perd les repères visuels du fond d'un bassin de piscine ; il se trouve alors obligé de lever la tête fréquemment, afin de conserver son axe de nage, perdant ainsi une grande quantité d'énergie. Comme dans le test de piétinement [25], l'asymétrie tonique s'exprime dans un mouvement et peut être quantifiée.

Protocole de test

Plus aisé et précis à pratiquer en piscine, ce protocole utilise un bassin de 25 mètres de long (figure 9.3).

Au préalable, on place dans les lunettes de nage ou le masque de plongée une feuille d'aluminium de telle façon que celle-ci oblitère intégralement la vue en cas d'ouverture inopinée des yeux ; cette feuille ne doit pas toucher la peau. Une fois le nageur positionné au milieu d'une des largeurs, il lui est demandé de regarder le même point sur l'autre largeur, de fermer les yeux, de placer ses lunettes et de nager avec ses palmes et son tuba, dans cette direction. Une personne, sans parler, l'accompagne pendant la nage, assure sa sécurité et l'arrête juste au moment où il touche un des bords de la piscine. Ce point est noté et permet de mesurer l'angle de déviation β par la formule : $tg\beta = \frac{a}{b+c}$. L'angle idéal est évidemment de 0° .

Des essais préalables ont montré, comme dans les 20 à 25 premiers pas lors du test de piétinement, que la déviation lors de la nage est souvent nulle pendant les premiers mètres (c). Aucune interprétation n'a été proposée, à ce jour, en dehors du fait que l'asymétrie tonique ne s'exprime pas immédiatement [26,27] lorsque l'on stimule différemment un capteur, comme à l'occlusion des yeux par exemple.

Comment ne pas faire référence à ce travail fondateur de J.B. Baron, qui a montré que lorsqu'il créait une déviation de l'axe visuel inférieure à 4° sur des poissons, par incision de muscles oculomoteurs, ceux-ci ne pouvaient plus que nager en cercle. Au-delà des 4° , ils ne semblaient pas en être gênés [28].

Matériel et méthode

Ce test [29] a été pratiqué sur une population de 25 plongeurs volontaires et entraînés, sans plaintes précises, d'âge ($35 \pm 9,5$ ans), avec leurs palmes, masque et tuba ; ce dernier introduit, pour chaque sujet, un plan de morsure différent mais constant. Deux groupes sont constitués par un tirage au sort : l'un sera le groupe témoin, testé à J1 et J8, et l'autre sera traité cinq jours après le premier

Ligne idéale de parcours

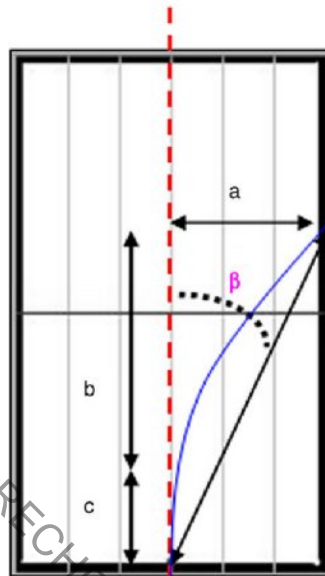


FIGURE 9.3. Vue de dessus d'un bassin de nage.

Ligne continue, trajet effectué par le nageur ; ligne pointillée, ligne idéale de parcours.
 a = distance à la ligne idéale de parcours, $b + c$ = distance parcourue rapportée à la longueur du bassin.

test (J1) et retesté à J8, soit trois jours après le traitement. Ce traitement qui, selon le paradigme ostéopathique, est propre à chacun, consiste en l'harmonisation des asymétries de mobilité, locales, régionales et globales, qu'elles concernent les articulations, les muscles, les viscères ou les fasciæ [30-33].

Une comparaison de moyenne des 2 échantillons non appariés a été calculée après avoir vérifié que les variances n'étaient pas significativement différentes.

Résultats

Effectués en début de protocole sur une dizaine de sujets, deux tests de nage successifs ont montré une bonne répétabilité intra-individuelle des mesures retenues, de l'ordre d'un mètre au maximum, soit entre 3 et 4°. Les valeurs obéissent à une loi normale.

Après élimination du risque de première espèce, les sujets dévient en moyenne de 14°, à droite ou à gauche de la droite idéale, avec un écart type de 7°. Cela correspond, sur une longueur de 25 mètres, à $6,5 \text{ m} \pm 6 \text{ m}$ d'écart par rapport à la ligne idéale de parcours (LIP). Sur les 25 sujets, deux dans chaque groupe dévient à huit jours de l'autre côté de la LIP. Difficilement interprétables comme comportement, ceux-ci ont été retirés de l'étude pour ne conserver que deux

TABLEAU 9.1. Moyenne et écart type des déviations des groupes témoin et traité.

		Groupe témoin	Groupe traité
À J1	Moyenne	8,7 m	6,5 m
	σ	3,6	2,7
À J8	Moyenne	8,2 m	2 m
	σ	3,9	2,8
Comparaison J1/J8		Non significatif	p < 0,001

Trois jours après le traitement, le groupe traité réduit en moyenne sa déviation de 4,5 m, celle-ci passant de 6,5 m à 2 m (p < 0,001), alors que le groupe témoin ne voit pas sa déviation varier. Même si elle est non significative, la longueur de la nage sans dévier (c) augmente dans le groupe traité.

groupes homogènes de 11 sujets traités et 10 sujets témoins à déviation homolatérale (tableau 9.1).

Discussion

Précédemment, un essai clinique [27] a montré que 20 secondes étaient nécessaires, au minimum, pour que les centres du tonus modifient leur réponse au test des rotateurs chez la quasi-totalité des 99 sujets explorés ; seuls 3 d’entre eux n’avaient pas réagi dans ce laps de temps. Ce constat pourrait expliquer le retard exprimé dans les déviations, tant au test de piétinement qu’à celui de la nage.

Après avoir ôté les quatre sujets qui changeaient de côté de déviation et le risque de première espèce, la population reste insuffisante en nombre. Les résultats présentés en annexes, cumulent les déviations que les 21 sujets décrivent pendant le premier test. Néanmoins, à l’occasion de la pratique de sports, ils donnent une idée des conséquences des asymétries posturales chez des sujets qui, en grande majorité, ne s’en plaignent pas.

Conclusion

Bien que limité de par sa mise en œuvre, ce test peut être considéré comme fiable et servir d’objectivation d’anomalies toniques et de suivi des traitements, ostéopathiques notamment, à visée posturale chez les sujets sportifs de haut niveau ou simples pratiquants du milieu aquatique.

Bibliographie

Le test de piétinement

1. Unterberger S. *Neue objective registrierbare Vestibularis Drehereacktion, erhalten durch Treten auf der Stelle*. Der ‘Tretversuch’. Arch. Klin. Exp. Ohr-Nas-Kehlokop. 1938;145:478–85.
2. Hirsch C. *A new labyrinthine reaction. The waltzing test*. Ann. Otol. (St Louis) 1940;49:232–6.
3. Fukuda T. *The stepping test. Two phases of the labyrinthine reflex*. Acta Otolaryngol.

- (Stockh) 1959;50:95-108.
4. Gagey PM, Debruille O. Analyse séquentielle du test de piétinement. Son application à l'étude du réflexe nugal. Approche théorique. *Agressologie* 1979;20 B:125-6.
 5. Gagey PM, Bizzo G, Debruille O. Les paramètres du test de piétinement de Fukuda sont-ils valables ? *Agressologie* 1983;24:331-6. http://ada-posturologie.fr/Fukuda_Validite.pdf.
 6. Norré ME, Peeraer L, Vandebeck E. The stepping test evaluated by a recording technique. *Agressologie* 1979;20 B:127-8.
 7. Weber B, Gagey PM, Noto R. La répétition de l'épreuve modifie-t-elle l'exécution du test de Fukuda ? *Agressologie* 1984;25:1311-4.
 8. Ushio, et al. *The stepping test with neck torsion : proposal of a new equilibrium test for cervical vertigo*. Practica Otologica Kyoto 1976;69(Sup.3):1369-79. (en japonais).
 9. Gagey PM, et Weber B. *Posturologie, régulation et dérèglements de la station debout*. 3^e édition Masson; 2004. p. 97-101.
 10. Thiry G. *Occlusion et posturologie*. Thèse Chirurgie Dentaire, Reims, 2000.
 11. Winttgens P.H., Weber B. *Le test de piétinement de Fukuda : bras tendus ou bras balancés ?* 8^e Journées de posturologie clinique Bruxelles, 5-6 décembre 2003.
 12. Jaïs L, Gagey PM, Weber B. *La meilleure façon de piétiner : comparaison de deux procédures de l'épreuve de Fukuda*, 7^e Journées de posturologie clinique. Toulouse, 2002.
 13. Ito, et al. *An improvement of the stepping test to detect latent imbalance of the labyrinthine function*. Equil. Res. 1987;46:350-2.
 14. Gagey PM, Baron JB. Influence des mouvements oculaires volontaires sur le test de Fukuda. *Agressologie*, 24, 2, 117-118, 1983.(Postura 5, 13-14, 2005).
 15. Tsutsumiuchi, et al. Stepping movement control and response. Two dimensional analysis of dynamic control mechanisms. *Agressologie* 1983;24:115.
 16. Ishida, et al. Evaluation of the stepping movement with a recording of plantar swiching. In: Brandt T, Paulus W, Bles W, editors. *Disorders of posture and gait* 1990. Stuttgart: Georg Thieme; 1990. p. 58-61.
 17. Liebenson C, Gagey PM. *Rehabilitation of the spine*. William et Wilkins; 1995.
- Les trois roulades avant les yeux fermés**
18. Fukuda T. On human dynamic postures. *Agressologie* 1978;20 B:99-104.
 19. Bourgeois P. (2001). Éducation physique, sport et posture. In Mesure S., Lamendin H. (dir) *Posture, pratique sportive et rééducation*, Masson, coll. Médecine du sport, Paris ; p. 75-88.
 20. Bourgeois P. (2001). Éducation physique et sportive et problèmes posturaux. In Lestienne F. (dir) *Espace du geste et de la posture*. Europa (Paris).
 21. Bourgeois P. (2001). *Relationships between postural control and higher cognitive functions*. 69^e congrès international de physiologie. Montpellier The European journal of physiology.
 22. Bourgeois P. (2003). Maturation et scolarité. In Gagey P.M. et Weber B. (dir) *Posturologie. Régulation et dérèglements de la station debout*. Masson, 3^e éd., Paris. p. 153-156.
 23. Bourgeois P. *When ergonomics and Posture enhance academic achievement*. Bologna, Italy: International Society for Posture and Gait Research; 2009.
 24. Gagey PM, Weber B. *Posturologie, Régulation et dérèglements de la station debout*. 3^e éd Paris: Masson; 2005.
- Le test de nage**
25. Fukuda T. The stepping test. Two phases of the labyrinthine reflex. Acta Otolaryngol. (Stockh.) 1959;50:95-108. 2.
 26. Ivanenko YP, Grasso R, Lacquaniti F. Effect of gaze on postural responses to neck proprioceptive and vestibular stimulation in humans. J. Physiol. 1999;519:301-14.

27. Scheibel A, et Weber B. L'intégralité de la procédure de Meersman est-elle nécessaire à l'examen clinique de l'articulation mandibulaire ? In: Lacour M, editor. *Nouveautés conceptuelles et instrumentales et cliniques*. Marseille: Solal; 2001.
28. Baron JB. Muscles moteurs oculaires, attitude et comportement locomoteur des vertébrés. Paris: Thèse de Sciences; 1955.
29. Frange L, Scheibel A. Test de nage : incidence du traitement ostéopathique sur la perception proprioceptive. In: Thoumie P, Lacour M, editors. *De la recherche à la pratique clinique*. Marseille: Solal; 2007.
30. Littlejohn JM. *Les principes de l'ostéopathie*. Centenary Édition. 34 pages.
31. Debusschere M. (1988). Effets d'une technique ostéopathique crânio-sacrée sur le système postural, Oxford.(thèse d'ostéopathie).
32. Scheibel A. (1988). Effets d'une technique ostéopathique haute vitesse sur le système postural, Oxford (thèse d'ostéopathie).
33. Charden L. (1989). Effets d'un traitement ostéopathique du rachis dorsal sur le système postural, Oxford.(thèse d'ostéopathie).

CHAPITRE 10

Conditions systématiques pour l'analyse des réponses posturales

10.1. Espace visuel : les vergences

Éric Matheron, Zoï Kapoula

Les mouvements de vergence représentent l'une des catégories de mouvements oculaires complexes qui permettent à chacun l'exploration de son environnement tridimensionnel, proche ou lointain. Ces mouvements requièrent la coordination des six muscles oculomoteurs de chaque œil. Ces muscles extra-oculaires sont activés *via* leurs nerfs moteurs : le petit oblique, les droits supérieur, inférieur et interne par le nerf moteur oculaire commun issu du noyau oculomoteur de la III^e paire, le droit externe par le nerf moteur oculaire externe issu du noyau abducens (VI^e paire) et le grand oblique par le nerf trochléaire issu du noyau abducens (IV^e paire). Ils sont richement pourvus de capteurs proprioceptifs qui codent, au niveau du système nerveux central, la position de l'œil dans l'orbite et l'allongement des muscles extra-oculaires. Ces informations sont transmises par le nerf trijumeau (V^e paire des nerfs crâniens) et se projettent sur les noyaux oculomoteurs, les colliculi supérieurs, le cortex visuel, les noyaux vestibulaires, le cervelet.

Les différents mouvements de vergence

Les mouvements de vergence permettent d'orienter le regard qui fixe un point d'intérêt du sujet à la distance adéquate. Les vergences, convergence ou divergence, sont les mouvements oculaires les plus lents (inférieurs à 20° par seconde). Presque parallèles en vision de loin (distance supérieure à 5 mètres), les axes optiques des yeux convergent en formant un angle qui augmente lorsque l'objet s'approche et diminue lors de son éloignement ; les axes, alors, divergent. En conditions écologiques, les mouvements oculaires combinent les vergences à d'autres mouvements telles les saccades, qui sont des mouvements

permettant d'amener un objet d'intérêt sur les fovéas, ou de l'y refixer. Autrement dit, les mouvements de vergence, impliqués dans la vision en profondeur, se combinent aux changements de direction du regard. Si vergence sous-entend essentiellement un mouvement des yeux « horizontal », les vergences verticales existent également ; ces mouvements sont très lents et de très faible amplitude, 5° maximum [1].

Les différents types de vergence et contrôles

Maddox [2] distinguait :

- la vergence tonique, ou fusionnelle, stimulée par la disparité ;
- la vergence accommodative, stimulée par le flou rétinien ;
- la vergence proximale, stimulée par le sens de la proximité, perception égo-centrique de la distance, de la taille et du mouvement de la cible.

Ces trois modes impliquent le cortex occipital pour le contrôle réflexe de la vergence, le cortex frontal dans le contrôle intentionnel, le tronc cérébral, où se situe un système prémoteur générateur des mouvements, et le cervelet. Les neurones impliqués dans les circuits prémoteurs de la vergence, issus de la formation réticulée du mésencéphale et du pont, codent majoritairement la convergence, quelques-uns codant la divergence, l'activité étant proportionnelle à l'angle et/ou la vitesse [3] ; ceci implique de s'interroger quant à la simplification clinique considérant la divergence comme une relaxation passive de la convergence [4]. Le cervelet joue un rôle essentiel dans l'adaptation et la calibration des mouvements. Une bonne capacité de vergence verticale prédit une bonne habileté à la fusion et permet le déclenchement des mécanismes adaptatifs [3].

Les vergences verticales interviennent dans la correction de la position relative des yeux pouvant varier avec l'inclinaison de la tête, la distance et la position de la cible d'intérêt par rapport à la tête et ses orbites [1].

Les signaux issus de la vergence et contrôle moteur

Il existe un couplage entre l'activité des muscles des yeux et du cou impliquant les voies réticulo et vestibulo-spinales [5, 6]. L'activité des muscles cervicaux peut être synchrone avec celle des yeux, voire la précéder. Lors du maintien de la direction du regard sur une cible d'intérêt, plus le regard est excentré, plus l'activité musculaire homolatérale du cou augmente ; cette synergie impliquerait des neurones vestibulaires de second ordre et réticulo-spinaux. Elle serait présente lors de la vergence *via* les afférences proprioceptives cervicales et oculomotrices qui interviendraient dans le codage des informations spatiales rétinienues.

Les signaux visuels et oculomoteurs de toutes sortes, mais en particulier ceux de la vergence, participent aux systèmes vestibulo-oculaire, vestibulo-spinal et réticulo-spinal impliqués dans le contrôle postural. Le système réticulo-spinal

est lui-même influencé par les faisceaux tecto-spinal et interstitio-spinal : ils reçoivent les stimuli visuels et interviennent dans le contrôle du mouvement des yeux et de la tête. Ces signaux sont intégrés au niveau des noyaux vestibulaires, point de départ des faisceaux vestibulo-spinaux qui contactent les motoneurones effecteurs somatiques ; toute modification d'information impliquant la direction du regard retentit donc immédiatement sur la répartition tonique. Comme elle implique la rétculée, *via* le système réticulo-spinal, la vergence peut moduler l'état tonique général ; une convergence dont l'angle des axes visuels est important induit un message oculomoteur soutenu. La combinaison des vergences aux autres mouvements oculaires est donc à prendre en considération lors de différents examens cliniques (par exemple, palpation, amplitude) ou instrumentaux (par exemple, stabilométrie) de la posture et du mouvement.

La modification volontaire de l'orientation du regard, comme la déviation de l'espace visuel à l'aide de prismes de faible puissance, modifie effectivement l'activité tonique posturale [7, 8]. Par exemple, en modifiant la direction du regard à droite ou à gauche, elle est repérable chez le sujet assis au niveau de l'orientation des pieds qui change, rappelant les réflexes de posture décrits par Magnus en 1926 [7], ou encore au niveau de la variation des réponses toniques des extenseurs des mains et des rotateurs de hanche [9]. L'augmentation du tonus des rotateurs externes et des extenseurs de la hanche d'un côté peut être induite par l'orientation contralatérale du regard comme de la langue, ou par la rotation du massif céphalique, l'interposition d'un plan de morsure de faible épaisseur ou la stimulation somesthésique plantaire du premier rayon homolatéral [10]. Autet rapporte que comparer un appui bipodal à un appui unipodal permettrait de déterminer si un défaut de convergence tonique peut être lié à une cause oculomotrice ou à celle d'un autre capteur déficient [9].

La vergence et le contrôle postural orthostatique

Le poids des signaux issus de la vergence module la stabilité orthostatique. L'augmentation de l'angle de convergence horizontale (statique) renforce la stabilité ; cet effet n'existe qu'en vision binoculaire et module le quotient du Romberg. En stabilométrie, la diminution de stabilité qu'engendre la situation yeux fermés *vs* yeux ouverts est observée en vision proche et intermédiaire (c'est-à-dire 20, 40 et 90 cm) d'une cible placée droit devant à hauteur des yeux, mais pas en vision plus éloignée (200 et 350 cm). Lorsque des sujets debout fixent du regard une cible placée à 40 ou 200 cm droit devant (correspondant respectivement à un angle de vergence de 9° et 2°), ou placée à 15° au-dessus ou au-dessous, la vergence alors combinée à la direction verticale du regard orienté soit vers le haut, soit vers le bas renforce leur stabilité à 200 cm [11].

Les enfants dyslexiques sont moins stables que les témoins lorsqu'ils fixent une diode placée à 25 ou à 150 cm à hauteur des yeux [12]. Mais nous avons

montré que des mouvements de vergence – liés aux processus attentionnels – alternés d’une diode à l’autre renforcent leur stabilité ; elle devient alors comparable à celle des sujets contrôles, à l’exception des oscillations médio-latérales qui demeurent plus amples chez eux alors qu’elles diminuent chez les sujets contrôles. Cette vergence active effectuée par des sujets chuteurs ou ayant peur de chuter renforce également leur stabilité : le bénéfice apporté par une oculomotricité active permettrait de contribuer à améliorer la prise en charge des seniors, y compris en terme de prévention [13].

La vergence verticale, étudiée à l’aide d’un prisme vertical de deux dioptries combiné à un angle de vergence statique à 40 et 200 cm, diminue la stabilité orthostatique quelle que soit la distance si elle concerne l’œil non dominant, a tendance à la diminuer en vision de près, mais la renforce en vision de loin si elle concerne l’œil dominant [14].

Implication clinique et conclusions

Ces données expérimentales concernent directement les cliniciens. En stabilométrie, les réponses enregistrées sont modifiées par la distance à laquelle le sujet regarde une cible placée à hauteur des yeux. Il est alors absolument nécessaire que l’élaboration de valeurs de référence tienne compte de cette condition. Cet impératif doit aussi s’appliquer aux tests cliniques ; dans le cas contraire, le bilan postural risque de minimiser, voire d’annuler, la manifestation d’un déficit de stabilité en rapport au poids des signaux visuels et oculomoteurs, ainsi que l’observation des effets liés à une absence de contrôle de la position des yeux, du contrôle de leurs mouvements ou de celui du regard.

En cas de problèmes impliquant l’entrée visuelle, le traitement des dysfonctions des vergences concerne les spécialistes tels que l’ophtalmologiste, l’orthoptiste et l’opticien le cas échéant (voir chapitres 12.2 et 10.2).

10.2. Espace visuel : les défauts visuels de la réfraction et le défaut d’aplomb

Michel Habif

La capacité ou puissance de l’œil normal, dit « emmétrope », permet à l’image d’un objet éloigné, à plus de 5 m, de se projeter exactement sur la rétine. Elle nécessite la décontraction des muscles ciliaires et celle, relative, des muscles oculomoteurs qui placent alors les axes des deux globes oculaires parallèlement.

L'image de tout objet situé à une distance inférieure, le long du parcours d'accommodation, n'est vue nette sur la rétine qu'en actionnant une **syncinésie accommodation/convergence** – phénomène réflexe qui, par une contraction des muscles ciliaires, règle la courbure du cristallin, donc la puissance de cette lentille –, ainsi qu'une convergence des axes visuels, gérée par contraction des muscles oculomoteurs dont l'information proprioceptive pourrait interagir avec la fonction vestibulaire. Nous n'évoquerons pas la variation du diamètre de la pupille, troisième élément de la syncinésie, ni les phénomènes annexes qui n'ont que des conséquences mineures sur la vision.

Les corrections optiques ont pour but de compenser les défauts de ce système.

Les défauts de la vision et leurs corrections

La vision éloignée

L'**œil myope**, trop puissant pour sa longueur, focalise l'image d'un objet éloigné en avant de la rétine. Un verre concave recule sur la rétine l'image de l'objet lointain.

L'**œil hypermétrope**, trop court pour sa puissance, focalise l'image d'un objet éloigné en arrière de la rétine. Il peut, en accommodant, la ramener sur la rétine. La correction visuelle par un verre convexe obtient une image rétinienne parfaite sans effort accommodatif.

L'**œil astigmat** donne une image déformée, conséquence de la non-sphéricité des faces de la cornée et/ou du cristallin. Un verre torique corrige ce défaut. L'astigmatisme est presque toujours associé à une myopie ou une hypermétropie ; il peut aussi être mixte. L'accommodation qui déforme les surfaces du cristallin peut créer ou modifier un astigmatisme.

La vision rapprochée

La **presbytie**, qui débute vers 45 ans, réduit progressivement la capacité à accommoder. Des verres convexes pallient ce manque de puissance de l'œil pour focaliser sur la rétine l'image d'un objet qui s'approche, le long du parcours d'accommodation.

En résumé

La qualité de vision d'un jeune myope (moins de 45/50 ans) est mauvaise de loin, mais bonne à courte distance. En fonction de la valeur de son défaut et de son âge, celle de l'hypermétrope, bonne en vision éloignée à condition de mettre en jeu son accommodation, l'est aussi à distance rapprochée tant que la puissance de son accommodation le lui permet.

Le but d'une bonne correction visuelle est donc : en vision de loin, de donner une image rétinienne optimale, sans effort accommodatif, et en vision de près, de soulager si nécessaire, l'effort d'accommodation lorsqu'il est défaillant, en rendant le système œil-correction emmétrope.

Le centrage des verres correcteurs

Le principe du centrage

La lumière n'est pas déviée lorsqu'elle passe par l'axe optique d'un verre correcteur, mais elle l'est, et ce de plus en plus, au fur et à mesure qu'elle s'en écarte. Ainsi, un mauvais centrage qui n'aligne pas les axes optiques du verre et de l'œil, engendre un effet prismatique qui modifie la perception de la direction de l'espace visuel, avec tous les problèmes toniques posturaux que cela peut induire.

En position de tête et en regard primaires, l'axe optique du verre doit se confondre avec celui de l'œil. **La stabilité** et l'ajustage des montures doivent également prendre en compte ce problème.

Les verres progressifs, qui nécessitent un centrage parfait, réclament encore plus de précautions. Un prisme dit d'allègement en réduit le poids et l'épaisseur ; leurs promoteurs estiment que la déviation induite étant identique par l'égalité des deux prismes, il n'y a pas d'incidence sur la vision et l'équilibre oculomoteur. En fait, les prismes d'allègement respectent la vision binoculaire, mais déplacent l'espace visuel, provoquant une modification de l'information proprioceptive, non seulement oculaire, mais également nucale : avec un prisme sur chaque œil, le sujet doit modifier la position des yeux et de la tête pour garder la macula sur l'objet fixé.

L'évolution actuelle tend à élargir les zones d'iso-puissance des deux verres dans les directions secondaires du regard pour diminuer les anamorphoses (distorsions de l'image) créées à la périphérie temporelle inférieure des verres.

En cas d'anisométrie, qui consiste en une réfraction différente des deux yeux, les valeurs prismatiques et leurs déviations induites ne sont pas égales pour chacun des yeux. L'opticien doit prendre en compte ces inégalités lors de la commande de l'ensemble correcteur [15].

La relation accommodation/convergence

Lorsque la correction en vision de loin est imprécise, chaque tentative de focalisation pour améliorer l'image entraînera un effort accommodatif et oculomoteur inapproprié, même pour un astigmatisme mineur ; ce phénomène est d'autant plus vrai que, l'âge venant, le cristallin se sclérose. Une vision efficace de près sera obtenue si la correction optique de loin est optimum, afin de réaliser une compensation symétrique minimale de la déficience accommodative.

La myopie scolaire est un exemple frappant : le travail en classe crée une surcharge d'accommodation qui aboutit, par un spasme accommodatif, à une myopie artificiellement augmentée. L'écolier ou l'étudiant ne sait plus « dés-accommoder », relâcher cette tension : la vision éloignée est alors dégradée, alors qu'une correction de la réfraction optimale, associée à une rééducation orthoptique, permettrait le relâchement musculaire. La solution

couramment proposée, et consistant à surcorriger cette vision de loin, ne fait que majorer l'effort accommodatif qui devient irréversible et conduit à une presbytie précoce, une addition surévaluée, des surcorrections myopiques ou des astigmatismes étranges...

Le travail sur écran, les jeux vidéo, les téléphones cellulaires, amplifiés par les conditions de travail ou de la vie quotidienne, sont souvent à l'origine de ces « myopisations artificielles » qui, plus fréquentes qu'autrefois, semblent être en liaison avec des problèmes d'occlusion, de bruxisme centré [16, 17].

L'accommodation, effort musculaire et signes fonctionnels

L'adaptation et la compensation sont notre quotidien, comme le confirme la posturologie. Dès 1987, C. Marucchi et P.M. Gagey [18] l'observent par une étude sur des prismes inadaptés [19]. Le clinicien, au quotidien, constate que les possibilités d'adaptation de l'entrée visuelle, comme les autres, peuvent se tarir. Qu'un facteur déclenchant intervienne sur une correction inadaptée ou même, alors que nécessaire, sur une absence de correction, et la syncinésie accommodation/convergence devient consciemment gênante, voire insupportable. Céphalées, migraines, sensation vertigineuse, instabilité, cervicalgies sont les symptômes les plus fréquents. Les patients en sur-accommodation – présentant une accommodation supérieure à celle nécessaire pour une distance de fixation – souffrent souvent de fatigues chroniques. Parfois, ils présentent un bruxisme nocturne sans qu'existe nécessairement un déséquilibre occlusal [16]. Dans une stratégie permanente d'accommodation, de stress musculaire général, ils sont obligés d'accommoder et pourraient aussi le faire la nuit, en rêvant, au cours des phases paradoxales REM (*Rapid Eye Movements*).

Dans le but d'éviter ou de soigner ces signes fonctionnels lorsqu'un défaut oculomoteur ou une phorie est avéré, **il est nécessaire de relâcher, de prime abord, tout effort anormal d'accommodation**, condition préalable à une rééducation orthoptique efficace, après une correction précise de la vision de loin [21].

La vision et l'examen postural

Une modification de l'aplomb accompagne l'adaptation aux effets prismatiques et aux imprécisions des afférences visuelles, corrigées ou non. Habituellement sans conséquence, elle peut révéler une dysfonction posturale jusqu'alors méconnue ou, dans certains cas, la causer [19, 20]. Parfois même, le système postural d'aplomb est amené à omettre l'information visuelle – cécité posturale [18] – dans l'intégration multi-modalitaire de la stabilité.

Aisément constatés et mesurés par les tests posturaux, les défauts de centrage des verres simples ou progressifs et de leurs montures sont fréquents. L'équipement visuel nécessite une grande précision, afin d'éviter les conséquences

posturales des effets prismatiques et d'un mauvais respect de l'axe correctif de l'astigmatisme.

L'examen de l'entrée visuelle, réfraction et oculomotricité, amène parfois à contrôler les autres entrées du système, tout particulièrement l'articulé dentaire.

Résultats rétrospectifs de 146 bilans visuels

Sur une population de 105 femmes et 41 hommes âgés de 16 à 80 ans, dont 102 entre 39 et 62 ans, présentant un défaut de réfraction et soumise à un bilan postural, nous avons constaté que :

- 106 patients, soit 72 %, suraccommodent en vision de loin, dont 21 soit 14,3 % de plus de 1,00 dioptrie, au moins pour un œil ;
- 31 patients, soit 21 %, souvent astigmates, ont une correction imprécise ;
- 8 patients, soit 5,4 %, sous-accommodent et présentent une myopie sous-correctée ou une hypermétropie surcorrectée ;
- 1 patient est corrigé en vision de loin pour un œil et corrigé en vision de près pour l'autre, après une intervention de la myopie. Cette « bascule » a pour conséquence de supprimer la vision binoculaire (voir chapitre 4.3).

Les résultats de 79 des 146 sujets sont présentés dans le [tableau 10.1](#).

Le bruxisme

Il est à noter que si le bruxisme n'était pas la raison de la visite, à la question « Souffrez-vous des mâchoires », sur 114 réponses nettes, 74 % ont répondu non et 26 % oui. À la question : « Avez-vous le sentiment de serrer les dents », sur 120 réponses nettes, 46 % ont répondu oui.

TABLEAU 10.1. Appréciation de la sur et sous-correction optique de 79 patients venus consulter dans le cadre d'un bilan postural.

Patients	Myopes	Hypermétropes	Total	p <
Surcorrectés	39	1	40	
Sous-correctés	6	33	39	
Total	45	34	79	
Chi ² à 1ddl			= 54,31	0,001

La différence entre les deux groupes est statistiquement significative (p < 0,001). Les myopes sont surcorrectés dans 86,6 % des cas et les hypermétropes sont sous-correctés dans 96,7 % [\[22\]](#).

Conclusion

L'interférence fréquente d'une mauvaise correction optique sur le fonctionnement du système postural est trop souvent oubliée au cours de l'examen clinique postural (voir chapitre 4.3).

L'exactitude des corrections optiques et de leur centrage par un opticien informé est nécessaire pour la correction d'une entrée visuelle suspectée par un bilan. L'absence de correction optique chez ceux qui en nécessiteraient, bien qu'elle puisse être apparemment bien compensée, peut être responsable d'adaptations posturales qui, à plus ou moins long terme, seront la cause de signes fonctionnels, habituellement décrits dans le défaut d'aplomb.

10.3. Sole plantaire : l'influence de l'interposition de mousse sous les pieds sur la régulation posturale et la locomotion

Stéphane Flotte de Pouzols, Philippe Villeneuve, Sylvie Villeneuve-Parpay

Le pied, l'un des organes les plus importants du système de régulation posturale, doit son importance à sa double fonction. Comme le dit le Pr Bouisset, « Le pied apparaît être bien plus que l'un des chaînons de la chaîne posturale. Son rôle particulier vient du fait qu'étant en contact avec le sol, il exerce un double rôle : celui d'effecteur et celui de capteur. »

Sa fonction sensorielle résulte en grande partie d'une innervation riche au niveau cutané : de nombreux capteurs sont présents dans le derme et l'épiderme, sensibles aux moindres variations de pression et d'étirement. Dès 1862, Heyd [23] l'a montré : l'anesthésie des capteurs de la plante des pieds, en immergeant les pieds dans l'eau froide, augmente de façon importante les oscillations posturales. Plus récemment, Villeneuve [30] a décrit qu'une perturbation de la sensibilité plantaire par une fine interposition de mousse sous les pieds pouvait révéler des zones nociceptives plantaires conscientes, et surtout non conscientes, présentes par exemple chez les lombalgiques [26]

Sa fonction biomécanique est le résultat d'une architecture osseuse adaptée au soutien corporel et à la locomotion, d'une structure capsulo-ligamentaire et musculaire lui assurant son intégrité. Ces éléments confèrent au pied une certaine élasticité et lui permettent d'être capable de se déformer pour résister aux contraintes exercées par le poids du corps lors de la marche, la course ou le saut, mais aussi de garantir des appuis stables. De la stabilité de ces appuis, résulte une bonne posture assurant une locomotion dans de bonnes conditions d'équilibre.

Depuis longtemps, on sait que la mousse perturbe la régulation posturale [24-26], mais dans quelle mesure ?

Influence de la mousse sur le rôle sensoriel du pied

Patel et al. [27] ont étudié l'action de 3 types de mousses d'une épaisseur de 13 cm environ et de densités différentes sur une plate-forme stabilométrique. Ils se sont attachés à différencier les oscillations lentes, de fréquences inférieures à 0,1 Hz liées aux petits mouvements de correction fins de l'équilibre, de celles de fréquences supérieures à 0,1 Hz, liées à des mouvements plus amples et plus rapides de rééquilibration.

Dans le plan sagittal, ils ont observé une augmentation des oscillations les yeux fermés, avec cependant une perturbation moindre sur la mousse souple par rapport à la mousse ferme. Il semblerait, selon les auteurs, que la mousse souple, du fait de sa plus grande compressibilité, permettrait de sentir le sol au travers d'elle et que cela permettrait de compenser la perte d'informations sensorielles inhérente au matériau. De plus, toujours selon les auteurs, le pied pourrait plus facilement exercer son rôle de soutien et, par la résistance sous-jacente offerte, corriger l'équilibre. Les plus grandes variations observées le sont sur les oscillations rapides, c'est-à-dire sur l'activité de rééquilibration.

Dans le plan frontal, ils ont observé plus de perturbations que dans le plan sagittal. Les auteurs l'expliquent par le fait qu'il est plus difficile de corriger les déséquilibres dans le plan frontal que dans le plan sagittal où les orteils jouent un rôle important dans la gestion des instabilités.

Di Berardino et al. [28] ont montré que la mousse épaisse mono ou bi-densité perturbe les mesures stabilométriques de façons importantes et non prévisibles. Cependant, ils ont mis en évidence cette capacité qu'ont les sujets de compenser ces perturbations par un apprentissage. La répétition des mesures fait en effet apparaître une diminution des perturbations.

Gagey et Weber [29] ont montré que la mousse fine modifiait très peu la position globale du sujet (X-moyen et Y-moyen). En revanche, elle modifie les paramètres oscillatoires (surface, vitesse, longueur, LfS, VfY, voir chapitre 12.1). Les auteurs l'expliquent comme étant le résultat d'un travail musculaire augmenté. Néanmoins, ils ont observé 2 populations : celle dont la surface du statokinésigramme est augmentée et celle dont la surface est diminuée sur mousse.

Cette variation pourrait être liée à la présence d'épines irritatives d'appui plantaire (EIAP). Ces dernières ont été décrites par Villeneuve [30], puis définies par Leporck et Villeneuve [31], comme étant une zone nociceptive podale consciente ou non, dont la stimulation modifie la posture de l'homme à l'aplomb. En effet, une étude avec interposition d'une mousse fine (3 mm) montre que 35 % de la population de lombalgiques mesurée ont une surface d'oscillation diminuée sur mousse [32]. Cette diminution est attribuée par l'auteur à un effet antalgique de la mousse bien connu des podologues. La mousse neutraliserait la perturbation nociceptive, permettant aux patients de retrouver une surface de statokinésigramme plus proche de la moyenne habituelle.

Debras et al. (2000) ont eux aussi étudié l'influence de la mousse sur ces EIAP en comparant 2 types de mousses fines couramment utilisées par les podologues, le Molyser et l'Orthomic (la plus ferme), sur un groupe de sujets

avec et sans EIAP. Le Molyser diminue la surface du statokinésigramme chez les sujets avec EIAP les yeux ouverts et chez tous les sujets les yeux fermés. Foisy et Kapoula ont récemment confirmé le concept d'EIAP (voir chapitre 14.5). Ils ont démontré que des stimulations plantaires (EMI et EME) modifiaient significativement la stabilité posturale (surface, variance de la vitesse), la position antéro-postérieure et l'amplitude tonique de convergence. Mais que cette dernière n'était pas modifiée par les stimulations plantaires pour les sujets présentant un quotient plantaire inférieur à 100 (voir chapitre 10.4.) qui présenteraient une « Inefficiency des afférences podales » comme cela avait déjà été trouvé en clinique [30,31,32] et stabilométriquement [26, 29].

Influence de la mousse sur la fonction biomécanique du pied

En observant des sujets debout sur une plate-forme mobile, Jin-Hsien et Ge [33] ont mis en avant l'influence de la mousse en mesurant les variations de pression plantaire, le mouvement de la tibiotarsienne et le travail électromyographique des gastrocnémiens et du tibial antérieur. Ils ont noté que les réponses musculaires des gastrocnémiens (muscles phasiques intervenant surtout dans les mouvements de rééquilibration) de moyennes et longues latences étaient augmentées sur mousse. Les réponses de courtes latences, elles, demeurent inchangées.

Kamibayashi et Muro [34] ont analysé l'effet de la mousse lors d'une action motrice. Ils se sont intéressés, grâce à des mesures électromyographiques, à l'activité des muscles : tibial antérieur, soléaire et gastrocnémien médial, lors d'une réception de saut sur sol dur ou sur mousse. Ils ont constaté que la mousse modifiait de façon notable la réponse musculaire à l'étirement, ainsi que l'activité musculaire anticipée du soléaire et du gastrocnémien médial. Cette action sur le soléaire est retrouvée par Villeneuve [35] qui objective une diminution du tonus du soléaire (une variation de l'angulation de la talo-crurale) lors de l'interposition d'une couche de Jotene de 3 mm sous les pieds d'une population jeune et saine.

Avec notre consœur P. Brun-Engler [36], nous avons mesuré l'effet de la mousse sur l'angle de marche chez des patients présentant une EIAP. Notre objectif était de comparer l'angle bipodal après un passage sur une piste dure ou sur une piste de mousse fine.

Nous avons observé chez ces sujets une augmentation de l'angle de marche. Il semblerait que la mousse, en neutralisant les EIAP, modifie la dynamique en permettant un passage de la ligne de charge plus près du 1^{er} métatarsien lors du déroulé du pas.

Conclusion

À la vue de ces différentes études, nous constatons bien que la mousse perturbe le pied dans sa double fonction.

Sur le plan sensoriel, il apparaît qu'elle peut augmenter les oscillations posturales comme les diminuer. Les perturbations engendrées dépendent de son épaisseur, de sa densité, mais aussi de son élasticité. Des mousses d'épaisseurs identiques mais de densités variées peuvent avoir des effets différents, voire opposés. Il semblerait cependant que l'effet perturbateur de la mousse épaisse puisse être compensé, mais on ne sait pas encore dans quelle mesure. Quand elle est fine, elle améliore les paramètres stabilométriques chez une certaine catégorie de patients, ceux porteurs d'EIAP. Elle devient alors un outil intéressant pour la mise en évidence des zones de nociception plantaire.

Sur le plan biomécanique, la mousse modifie dans une certaine mesure la réponse musculaire d'une partie du triceps sural à l'étirement, ainsi que son action musculaire anticipée. Elle modifie aussi l'angle de marche chez les sujets présentant une EIAP. Mais il reste difficile d'analyser comparativement les différents protocoles tant les conditions expérimentales et les mousses utilisées sont différentes ; il apparaît néanmoins que son incidence sur le pied est complexe et variable.

10.4. Sole plantaire : le quotient plantaire, le quotient visuo-podal et le conflit visuo-podal

Bernard Weber, Alain Scheibel

La clinique posturale pose à tout praticien une question essentielle : comment prodiguer les soins les mieux adaptés à chaque cas ? Comment choisir l'entrée la plus pertinente et quand conseiller la consultation du spécialiste d'une autre entrée que la sienne ? Le quotient plantaire peut être un début de réponse pour le podologue et son réseau : il permet d'évaluer la nécessité d'un traitement par orthèses plantaires.

Le quotient plantaire (QP)

L'évaluation du quotient plantaire nécessite une plate-forme de stabilométrie et la prise de deux mesures : l'une sur sol dur, l'autre sur mousse. Les paramètres extraits de l'enregistrement sont ainsi obtenus les pieds nus du patient posés soit directement sur le plateau, soit sur une mousse qui modifie les afférences de la sole plantaire. C'est dire que les données enregistrées dépendent des caractéristiques physiques de la mousse utilisée [37]. C'est théoriquement l'un des avantages du quotient plantaire que de s'affranchir « relativement » de ces caractéristiques : les paramètres sont plus sensibles à ces caractéristiques que leur rapport.

Le quotient plantaire (QP) s'exprime habituellement comme le rapport suivant :

$$QP = \frac{\text{Surface avec mousse}}{\text{Surface sur sol dur}} \times 100$$

Sa valeur chez le sujet sans dysfonction posturale se situe entre 200 et 250, mais peut varier en fonction de la qualité de la mousse utilisée. Il est donc intéressant pour chaque praticien de se constituer, au fur et à mesure de ses consultations et avec des sujets sans défaut d'aplomb, un fichier de valeurs de référence avec la mousse qu'il utilise habituellement. Inférieur à 100, le QP traduirait une dysfonction posturale [38] : dans ce cas, la mousse ne déstabilise plus le sujet, mais améliore ses performances, ce qui pourrait signer une nociception venant des stimuli podaux. S'il est habituellement calculé à partir des valeurs de la surface du centre de pression, qui tient compte de la précision de la stabilité mais aussi de la dépense d'énergie qu'elle requiert, le QP, comme le quotient du Romberg (QR), pourrait être calculé à partir de toutes les autres données stabilométriques (longueur, X-moyen, Y-moyen, LfS, VfY...).

Discussion

Les premiers travaux montrent que mettre les pieds sur de la mousse déstabilise le sujet sain ou en défaut d'aplomb [39-41]. Magnusson et al. [42] ont montré que l'interposition d'une mousse épaisse entre le sol et le pied est équivalente à une anesthésie de la sole plantaire, même si Janin estime que l'interprétation des données de la stabilité sur mousse est encore plus délicate que celle du pied anesthésié, la mousse jouant sur l'afférence et l'efférence : **plus la mousse est épaisse et molle, plus la part de la réponse stabilisatrice semble perturbée.** L'examen clinique et stabilométrique utilise en général une mousse assez dure (Orthomic), sans que cette habitude historique ait été validée.

Mettre le pied sur de la mousse éliminerait, ou tout au moins atténuerait le rôle des informations venues des mécanorécepteurs plantaires dans la régulation posturale. Anne-Marie Leporck [43], lors d'une analyse des stabilométries de 77 sujets, remarque que « 35 % des individus ont des surfaces qui sont diminuées sur mousse, ce qui ne paraît pas cohérent avec l'effet prévisible de la mousse ». L'amélioration de la stabilité serait liée au fait que ces individus présentent des stimuli nociceptifs d'origine plantaire, ce qui est le cas lors de la présence d'épines irritatives d'appui plantaire (EIAP) [44, 45].

Dans ces manifestations, la part respective des capteurs de la somesthésie cutanée tactile, superficielle et discriminative, thermique et nociceptive, est discutée [45, 46]. Chez le sujet sain, la somesthésie myo-tendino-articulaire et la proprioception contribuent aussi à réguler l'aplomb ; la mousse, en diminuant la sensibilité, limiterait la capacité du SNC à envoyer des signaux efférents

efficaces, ce qui peut contribuer au diagnostic du défaut d'aplomb, à condition, bien entendu, que les capteurs soient en bon état (absence de neuropathie ou de pathologie).

Seuil sensitif et seuil de la douleur sont probablement proches au cours de l'EIAP (dite inconsciente) [46]. La douleur, non évoquée par le patient, peut être à l'origine d'une altération de la stabilité et générer des pathologies [47, 48] : les EIAP comme les afférences nociceptives du pied présenteraient un $QP < 100$.

Il est aussi intéressant de comparer, comme l'a proposé Dujol en 1991, les valeurs stabilométriques sur sol dur et sur mousse, yeux ouverts (YO) et fermés (YF) ; ce quotient visuo-podal (QVP) se définit ainsi comme le rapport des coefficients du Romberg (QR) sur sol dur et sur mousse. Il existe un conflit visuo-podal si le QR sol dur est inférieur au QR sol mousse ; ce conflit est plus net encore si le QR sol dur < 100 et le QR sol mousse physiologique.

Les définitions de posturalement sain et pathologique sont difficiles à poser. La définition des EIAP et les caractéristiques physiques de la mousse qui modifie ou améliore la stabilométrie ou les signes cliniques sont encore floues. Les variations du QP semblent dépendre, au moins, de tous ces facteurs.

Afin de préciser le comportement stabilométrique du sujet « sain » face à différentes interfaces entre la sole plantaire et la plate-forme (Médicapteur ©) (hauteur, densité, dureté et coefficient shore), un récent travail [49] a été entrepris sur une population se voulant « normale ». À partir de 30 sujets volontaires, les 14 inclus (âge $41 \pm 5,13$ ans) ne présentent pas de signe postural à l'interrogatoire ; de plus, à l'examen stabilométrique, X-moyen et surface sont répétables à deux tests successifs les yeux ouverts.

Six interfaces, entre la sole plantaire et la plate-forme, dont l'Orthomic et la Molyser, sont alors testées.

La comparaison des moyennes en valeurs appariées montre que ni le X-moyen, le LfS, le VfY ou le QR ne sont sensibles à la variation de l'interface, et seule la mousse Molyser de 4 mm présente une variation significative par rapport au sol dur du paramètre surface, yeux ouverts comme fermés. De plus, le QP ne varie que les yeux fermés et le QVP reste à 100 ± 4 , quelle que soit l'interface.

Conclusion

Au vu de l'ensemble des travaux à notre connaissance, il semble essentiel que les futurs protocoles tiennent compte, au moins, des caractéristiques physiques des mousses utilisées.

L'expérience clinique montre que l'enregistrement systématique du QP et du QVP constitue un moyen efficace d'orienter le traitement, sans pour autant faire de cet enregistrement le seul indicateur de la nécessité d'orthèses plantaires.

10.5. Sole plantaire : pieds nus/pieds avec semelles

Sylvie Legendre-Batier

Le pied, interface entre l'homme debout et le sol, est un acteur privilégié du maintien de la posture. Dans le but de la modifier, les orthèses visent à corriger les déséquilibres statiques et dynamiques du sujet (Code de la sécurité sociale).

Dès 1955, A. Bregegère, dans le premier livre sur les orthèses podologiques, propose une analyse des ceintures pelviennes, scapulaires et de la position de la tête pour en déduire les reliefs plantaires destinés à corriger les déséquilibres du patient [50].

La modification de la base d'appui par une orthèse plantaire, quelle que soit son épaisseur, est susceptible de modifier la régulation posturale [51]. L'évaluation de l'action des orthèses plantaires est nécessaire ; le podologue, au terme d'un examen clinique postural, doit faire un choix d'orthèses plantaires dans le but de soulager le patient.

Historique de l'orthèse plantaire

À la fin du VIII^e siècle, sur le constat qu'une douleur plantaire peut affecter l'ensemble de l'individu, la première semelle antalgique est proposée. À la même époque, Venel propose déjà une solution adaptée à chacun de ses patients, comme pour le célèbre « Diable boiteux », surnom donné au diplomate C.M. de Talleyrand, auquel il confectionna des chaussures orthopédiques avec, placée sous la semelle droite, une surépaisseur de toute la partie externe du pied dans le but de rétablir l'équilibre de celui-ci. Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, les corrections orthétiques sont exclusivement sous la semelle de la chaussure. À la même époque, les premières semelles de série apparaissent dans les catalogues de fournisseurs d'appareillages orthopédiques. Au même moment, en Angleterre, le chirurgien Whitman fait réaliser une semelle orthopédique en métal ayant pour but de provoquer une douleur destinée à déclencher un réflexe d'évitement.

Les précurseurs de la podologie actuelle, Jean Lelièvre en 1955, Ledos en 1956, Ceccaldi et Moreau en 1975, érigent les bases biomécaniques de l'homme debout. Médecins et podologues soupçonnent alors que des dysmorphoses podales peuvent être la cause de rachialgie et que l'orthèse plantaire s'adresse à l'ensemble du schéma corporel. Ils constatent également que, trop épaisses, les orthèses plantaires peuvent être nocives. Ledos affirme alors : « Le but de la semelle est bien, en définitive, de redresser les affaissements en exerçant des pressions déterminées ; encore faut-il que celles-ci n'atrophient pas les muscles, mais au contraire les tonifient ; cela doit être un principe absolu ». Lelièvre déclare : « Les supports plantaires classiques, à grosses voutes, sont à rejeter...

Inutiles et souvent nuisibles, ils écrasent et compriment les parties molles et laissent souvent subsister le valgus. » Le professeur Benassy reprend : « La correction orthétique trop importante ne fait alors qu'amplifier les contractions musculaires et leurs conséquences ».

De nouveaux matériaux proposent des semelles thermoformées de la sole plantaire, outils parfaits pour appliquer le principe de répartition des charges difficile à mettre en œuvre avec les techniques classiques.

Bourdiol, en 1980 [52], suggère que les semelles ne doivent pas être mécaniques, mais proprioceptives ; de la même façon, Benassy affirme : « Il suffit souvent, après un long examen, d'une petite cale sous telle éminence du pied pour réduire une déformation rachidienne, voire modifier un tempérament. » Deux podologues, Denis Bensoussan et Jacques Nicolas, affinent alors l'examen clinique et proposent de nouveaux éléments de stimulations plantaires. Il faut attendre P.M. Gagey et sa rencontre avec Philippe Villeneuve pour que le pied soit reconnu comme une exo-entrée du système postural, au même titre que l'œil ou le vestibule. Dans cette perspective, les semelles sont utilisées pour modifier la stabilité d'un sujet et traiter certaines déficiences du système postural.

Les écrits des pionniers concordent : l'épaisseur est, en règle générale, nocive pour la statique.

Quelques recherches cliniques, état de la question

Comme l'observe J.P. Roll et Vedel lors de recherches fondamentales (voir chapitre 4.2), la stimulation de certaines zones plantaires crée, de la part du corps, des réponses orientées, ainsi qu'une sommation de celles-ci. Les plus nombreuses sont les recherches cliniques sur de petits échantillons, qui nous donnent une idée des réactions du corps lorsque le pied est stimulé par des reliefs, d'épaisseur et de localisation systématique, placés sous la sole plantaire.

Localisation du relief

Dans le but de diminuer la pression reçue par une zone douloureuse, une mousse placée en arrière de cette zone est plus efficace qu'une mousse placée dessous [53]. En 1996, il est montré qu'une couche de mousse placée sous le pied modifie l'effet des épines irritatives d'appuis plantaires sur la posture [51]. De récentes études sur l'effet des soins de pédicurie viennent conforter ce fait [54]. Enfin, un élément externe d'une épaisseur de 3 mm en arrière de la cinquième tête métatarsienne ne modifie pas la position moyenne en Y, la surface et la longueur du centre de pression [55].

Type de relief

Dans le but de réduire la différence de hauteur relative des deux épines iliaques postéro-supérieures, la correction par une talonnette est moins efficace qu'un

traitement par éléments de stimulation podale, de faible épaisseur, choisis à la suite d'un examen clinique rigoureux [56].

Hauteur du relief

L'efficacité des stimulations plantaires n'existe que pour de petites épaisseurs [57]. Des barres antérieures rétro-capitales, de 1 à 3 mm d'épaisseur, ont les résultats plus significatifs sur trois tests : la distance, en centimètres, entre la verticale physique matérialisée par le fil à plomb tangent au pli fessier, la distance entre l'extrémité inférieure de l'index droit et le sol lorsque le sujet est courbé en avant au maximum, et la variation de l'arc de cercle que présente le rachis fléchi de la même manière : au-delà de 3 mm, leur efficacité, mesurée à 5 minutes et 3 semaines, s'effondre dans la durée [58].

Action du relief

Les orthèses biomécaniques, sur des patients gonalgiques, font diminuer la douleur de façon significative, évaluée par le questionnaire de Roland-Morris [59], sans que les paramètres stabilométriques ne varient [60].

Les chaussures thérapeutiques de décharge, avec ou sans orthèses plantaires, génèrent sur le sujet sain un recul du centre de pression [61].

Constaté en pratique clinique, le traitement de la lombalgie chronique par des semelles posturales pendant huit semaines a un effet positif à l'échelle visuelle analogique et au Roland-Morris, mais pas sur le test posturo-dynamique [62].

Effets des différents types de semelles : orthopédiques, biomécaniques, posturales...

Philippe Monthéard [63] distingue deux générations de semelles orthopédiques :

- la première, les semelles biomécaniques, utilise l'analyse de critères morphologiques afin de mettre en décharge les zones douloureuses dues aux atteintes tégumentaires et/ou les déformations des pieds, comme le pied plat, creux, l'hal-lux valgus... ;
- la deuxième, proposée par Bourdiol [52], sous la dénomination de semelles neurologiques ou proprioceptives, aboutit à la semelle de posture, ou posturale, qui a pour but de modifier le tonus postural.

Opposer ces deux générations ne semble pas souhaitable ; il est même parfois nécessaire d'associer les deux afin d'obtenir un traitement efficace. Les appuis nociceptifs et leurs conséquences tégumentaires au niveau du pied doivent être pris en charge plutôt d'une façon biomécanique, avec une mise en décharge de ces appuis par l'utilisation de petites épaisseurs de mousse. Comme démontré précédemment, ce type de prise peut avoir un effet sur le tonus de posture. Les éléments de stimulation podale vont permettre d'obtenir une action directe sur le tonus postural.

Les différentes études et validations des effets des semelles orthopédiques, qu'elles soient mécaniques, proprioceptives ou posturales, sont insuffisantes pour trancher sur le type de semelle à utiliser et pour quelle pathologie. Seul un examen clinique postural, méthodique et rigoureux, incluant l'examen cutané du pied et de sa mobilité articulaire, va permettre d'appréhender les différents troubles morphologiques et l'asymétrie tonique. Le choix du traitement et de l'appareillage ne pourra cependant être envisagé que si l'entrée podale est l'une des entrées capables de modifier le tonus.

Il est néanmoins nécessaire que le podologue conserve son sens clinique. Il doit, à la fois, observer son patient en tant que thérapeute du pied et posturologue. Il est parfois suffisant de traiter une douleur d'épine calcanéenne pour régler la posture ; une autre fois, il faut faire appel à nos connaissances de posturologue pour traiter une lombalgie chronique ; enfin, en cas de déformation de pieds et de lombalgie, les deux réflexions sont associées. Le podologue doit ainsi savoir, à bon escient, utiliser tous les outils thérapeutiques dont il dispose.

Bibliographie

Espace visuel : les vergences

1. Leigh RJ, Zee DS. *The neurology of eye movement*. 4th edition New York: Oxford University Press; 2006. 762 p.
2. Maddox EE. *The clinical use of prisms and the decentering of lenses*. Bristol: John Wright et Sons Ltd; 1893.
3. Vernet M (2009) Coordination des mouvements oculaires dans l'espace 3D chez l'Homme : Substrat Cortical Étudié par TMS. Thèse de Sciences (Neurosciences). Université Paris VI – Pierre et Marie Curie, Paris. http://www.risc.cnrs.fr/Theses_pdf/2009_Vernet.pdf.
4. Kapoula Z, Bucci MP, Jurion F, Ayoun J, Afkhami F, Btemond-Gignac D. Evidence for frequent divergence impairment in French dyslexic children: deficit of convergence relaxation or of divergence per se? *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* 2007;245:931–6.
5. Berthoz A. The role of gaze in compensation of vestibular disfunction: the gaze substitution hypothesis. *Progress in Brain Research* 1988;76:411–20.
6. Han Y, Lennerstrand G. Effects of neck muscle proprioceptive activation on the dynamics of monocularly driven horizontal vergence movements. *Acta Ophthalmol Scand* 1998;76(3):283–8.
7. Gagey PM, Baron JB, Lespargot J, Poli JP. Variations de l'activité tonique posturale et activité des muscles oculocéphalogyres en cathédrostatisme. *Agressologie* 1973;14B:87–95.
8. Ushio N, Hinoki M, Nakanishi K, Baron JB. Role of oculomotor proprioception in the maintenance of body equilibrium. Correlation with the cervical one. *Agressologie* 1980;21(E):143–52.
9. Guillaume P. L'examen clinique postural. *Agressologie* 1988;29(10):687–90.
10. Villeneuve-Parpay S. Loi du tonus et réflexes posturaux. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Paris: Frison-Roche; 1996. p. 121–9.
11. Lê TT (2008) Rôle de la vergence oculomotrice dans le contrôle de la posture. Thèse de Sciences (Neurosciences). Université Paris VI– Pierre et Marie Curie, Paris. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00812531/document>.
12. Kapoula Z, Bucci MP. Postural control in dyslexic and non-dyslexic children. *J Neurol* 2007;254(9):1174–83.

13. Matheron E, Yang Q, Delpit-Baraut V, Dailly O, Kapoula Z. Active ocular vergence improves postural control in elderly as close viewing distance with or without a single cognitive task. *Neuroscience Letters* 2016;610:24–9.
14. Matheron E, Lê TT, Yang Q, Kapoula Z. Effects of a two-diopter vertical prism on posture. *Neuroscience Letters* 2007;423(3):236–40.

Espace visuel : les défauts visuels de la réfraction et le défaut d'aplomb

15. Habib M. Prismes et verres progressifs – communication personnelle, site Web de l'ADAP : <http://ada-posturologie.fr/Habif.htm>.
16. Bonnier LR, Habib M. Prise en charge des ADAM par l'odontologiste. Un risque diagnostique méconnu : les visions défectueuses. *Chirurgien-dentiste de France* 2002;1083:239–41.
17. Ridet I, Bonnier L, Weber B. Orthoptistes et occlusion dentaire. *J f Orthoptique* 2004;36:125–33.
18. Marucchi C, Gagey PM. Cécité posturale. *Agressologie* 1987;28(9):947–8.
19. Marucchi C, Habib M, Gagey PM, Weber B, Zamfirescu F, Benaim C. Corrective lenses and the fine postural system I Stabilometric variations induced by varying the diopters of corrective lenses. In: Taguchi K, Igarashi M, Mori S, editors. *Vestibular and neural front*. Amsterdam: Elsevier; 1994. p. 357–60.
20. Weber B, Benaim C, Gagey PM, Habib M, Marucchi C, Zamfirescu F. Corrective lenses and the fine postural system. II Influence of the optical configuration lenses on the functioning of this system. In: Taguchi K, Igarashi M, Mori S, editors. *Vestibular and neural front*. Amsterdam: Elsevier; 1994. p. 361–4.
21. Habib M, Hennebique JF. Le rôle de l'accommodation. Paris: API; 2013.
22. Weber B. Observation privilégiée en recherche clinique. Comprendre l'homéostasie après Claude Bernard et Henri Laborit. Paris: API; 2013.

Sole plantaire : l'influence de l'interposition de mousse sous les pieds sur la régulation posturale et la locomotion

23. Heyd WHSC. *Der Tastsinn der Fusssohle als Aequilibrungsmittel des Körpers beim Stehen*. Heirich Laupp Tübingen; 1862. p.22.
24. Bles W. *Sensory interactions and human posture ; an experimental study*. Thesis Sci. Free Univ Amsterdam 1979.
25. Magnusson M, Enborn H, Johansson R, Pyykko I. The importance of somatosensory information from the feet in postural control in man. In: Paulus W, Bles W, editors. *Disorders of posture and gait*. Stuttgart: Ed Th. Brandt, Thieme; 1990. p. 190–3.
26. Nouhet B, Villeneuve-Parpay S, Villeneuve P. La comparaison des enregistrements stabilométriques sur sol dur et sur sol mousse est-elle utilisable en pratique clinique ? In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Paris: Frison-Roche; 1996. p. 91–7.
27. Patel M, Fransson PA, Lush D, Gomez S. The effect of foam surface properties on postural stability assessment while standing. *Gait and posture* 2008;28:649–56. Elsevier.
28. Di Berardino F, Filipponi E, Barozzi S, Giordano G, Alpini D, Cesarani A. The use of rubber foam pads and sensory ratios to reduce variability in static posturography assessment. *Gait and posture* 2009;29:158–60. Elsevier.
29. Weber B, Gagey PM. Modification des critères de stabilométrie par interposition d'une mousse entre sole plantaire et plate-forme. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et rachis*. Frison Roche; 2002. p. 201–5.
30. Villeneuve P. Cinquième leçon de posturologie. In: Gagey PM, Bizzo G, Bonnier L, Gentaz R, Guillaume P, Marucchi C, Villeneuve P, editors. *Les huit leçons de Posturologie*. Association Française de Posturologie; 1990.
31. Leporck AM, Villeneuve P. Les épines irritatives d'appui plantaire ; objectivation clinique et stabilométrique. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Paris: Frison-Roche; 1996. p. 131–8.
32. Villeneuve P. Utilisation clinique de l'interposition de mousse sous les pieds. *Podologie* 1996;109:117.

33. Jin-Hsien C, Ge W. The influence of foam surfaces on biomechanical variables contributing on postural control. *Gait and Posture* 1997;5:239–45.
34. Kamibayashi K, Muro M. Modulation or pre-programmed muscle and stretch reflex to change of contact surface and visual input during mouvement to absorb impact. *Journal of electromyography and kinesiology* Oct 2006;16(5):432–9.
35. Villeneuve F. *Influence de matériaux techniques sur le tonus musculaire* ; Travail de fin d'études, Année 2014/2015, Haute École Libre de Bruxelles – Ilya Prigogine.
36. Brun-Engler P, Flotte de Pouzols S. Incidence des épines irritatives antérieures sur l'angle de marche. In: Villeneuve P, Weber B, editors. *Posturologie clinique*. Tonus, posture et attitudes. Masson; 2010. p. 149–54.

Sole plantaire : le quotient plantaire, le quotient visuo-podal et le conflit visuo-podal

37. Weber B, Nouhet B, Villeneuve-Parpay S. Examen clinique et stabilométrique sur mousse. État de la question. In: Villeneuve P, Weber B, editors. *Pied, équilibre et mouvement*. Paris: Masson; 2000. p. 107–18.
38. Leporck AM, Villeneuve P. Les épines irritatives d'appui plantaire ; objectivation clinique et stabilométrique. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Paris: Frison-Roche; 1996. p. 131–8.
39. Bles W, De Witt G. Study on the effects of optic stimulation on standing. *Agressologie* 1976;17C:1–5.
40. Dujols A. Quotient plantaire et conflit visuo-podal. *Agressologie* 1991;32(3):192–4.
41. Weber B, Gagey PM. Modification des critères de stabilométrie par interposition d'une mousse entre sole plantaire et plate-forme. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et rachis*. Paris: Frison-Roche; 1998. p. 201–5.
42. Magnusson M, et al. The importance of somatosensory information from the feet in postural control in man. In: Brandt Th, Paulus W, Bles W, editors. *Disorders of posture and gait* 1990. Stuttgart: Georg Thieme; 1990. p. 190–3.
43. Leporck AM. Modification unilatérale des pressions plantaires. Enregistrement stabilométrique et podométrique. In: Villeneuve P, Weber B, editors. *Pied, équilibre et mouvement*. Paris: Masson; 2000. p. 72–7.
44. Flotte de Pouzols S, Brun-Engler P. Incidence des épines irritatives antérieures sur l'angle de marche. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Tonus, posture et attitudes*. Paris: Masson; 2010. p. 150–4.
45. Janin M. Sensibilité et motricité podales : leur influence sur le contrôle posturocinétique de sujets sains et pathologiques. Thèse de doctorat, Université de Toulouse 3, Paul Sabatier; 2009.
46. Janin M. Épine irritative d'appui plantaire inconsciente : mécanorécepteur ou nocicepteur ? In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique : Comprendre, évaluer, soulager les douleurs*. Paris: Masson; 2012. p. 84–92. 2012.
47. Orengo P. Nociception plantaire : répercussion sur les gonalgies. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Pied, équilibre et mouvement*. Paris: Masson; 2000. p. 148–9.
48. Gibaud A, Garcin O. Tendinopathie du tenseur du Fascia Lata et épines irritatives d'appui plantaire. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique. Comprendre évaluer soulager les douleurs*. Paris: Masson; 2012. p. 101–7.
49. Audebert V. *La variation de l'interface podale modifie-t-elle les critères stabilométriques*. Mémoire DIU de Posturologie Clinique, Université Paris 6, Faculté de Médecine Pierre et Marie Curie, 2015, 18 pages.

Sole plantaire : pieds nus/pieds avec semelles.

50. Bregegère A. La prothèse podologique étudiée et l'équilibre par la base. Maloine; 1955.
51. Leporck AM, Villeneuve P. Les épines irritatives d'appui plantaire. Objectivation clinique et stabilométrique. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et posture*. Frison-Roche; 1996.
52. Bourdiol RJ, Capelus F, Nguyen Tan H, Hatoun P. *Pied et statique*. Paris: Maisonneuve; 1980.

53. Derouin K, Arentz JC. *Répercussion des épines irritatives d'appui plantaire sur la posture*. Mémoire de DU Physiologie de la posture et du mouvement. Orsay: Université Paris-Sud; 2001.
54. Denis-Dagnas P, Pradels A, Janin M, Vuillerme N. *Prise en charge de pédicurie-podologie de la personne âgée : effet sur la distribution des pressions plantaires*. Marseille: Congrès de l'Association posture et équilibre; 2012.
55. Janin M, Toussaint L. Variation du centre de pression lors de stimulations par éléments antérieurs d'orthèses. In: Lacour M, Weber B, editors. *Nouvelles méthodes de traitement du signal posturographique. Application en recherche fondamentale et clinique, Posture et équilibre*. Solal: Marseille; 2004. p. 153-66.
56. Rousselet I, Poupard L, Janin M, Sartène R. Comparaison d'un traitement postural par port d'une talonnette et par stimulation podale. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Pied, équilibre et traitements posturaux*. Paris: Masson; 2003.
57. Okubo J, Watanabe I, Baron J-B. Study on influences of the plantar mechanoreceptors on body sway. *Agressologie*, 1980 ; 21D : 61-70.
58. Janin M, Toussaint L. Variation du centre de pression lors de stimulations par éléments antérieurs d'orthèse. In: Lacour M, editor. *Nouvelles méthodes de traitement du signal posturographique*. Solal; 2004.
59. Roland M, Fairbank J. *The Roland-Morris Disability Questionnaire and the Oswestry Disability Questionnaire*. *Spine* 2000;25(24):3115-24.
60. Moyne-Bressand S, Dousset E, Dhieux C, Decherchi P. *Étude des effets du port d'orthèses plantaires sur les modifications de la stratégie neurale chez des patients atteints de gonalgie*. Marseille: Communication orale, Congrès APE; 2012.
61. Berger L, Domenge F, Calleja J, Gin H. *Effet de la chaussure thérapeutique avec ou sans orthèse plantaire chez le sujet sain*. Marseille: Communication orale, Congrès de l'Association posture et équilibre; 2012.
62. Weber B, Villeneuve P, Ehring C, Kurzawa S. *Plantar orthotics for patients with chronic low back pain (CLBP) decreases pain and improves spine function and mobility. Scientific testing of orthotic devices*; 2011.
63. Monthéard PH. Appui plantaire et équilibre, choix orthétique. In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et rachis*. Paris: Frison-Roche; 1998.

CHAPITRE 11

Examen clinique et mesure

11.1. L'échelle visuelle analogique

Alain Scheibel

Utilisée pour mesurer et comparer la douleur ressentie par un patient à différents moments, l'échelle visuelle analogique (EVA) vise à recueillir des informations comparables, valides et sensibles aux effets d'un traitement. Elle est recommandée par l'ANAES [1].

L'échelle visuelle analogique (figure 11.1) se présente sous la forme d'une règlette à 2 faces, orientées de gauche à droite, sur laquelle se déplace un curseur. Une face (ou recto) est destinée au patient. Son envers (ou verso) est utilisé par le thérapeute pour mesurer l'intensité de la douleur.

Face patient

Son extrémité gauche, marquée « pas de douleur », est reliée par un trait bleu à l'extrémité droite, marquée « douleur maximale imaginable ». Après avoir placé le curseur sur la position « pas de douleur », on demande au patient de déplacer le curseur de la gauche vers la droite sur la ligne bleue selon ce qu'il perçoit de l'intensité de sa douleur.

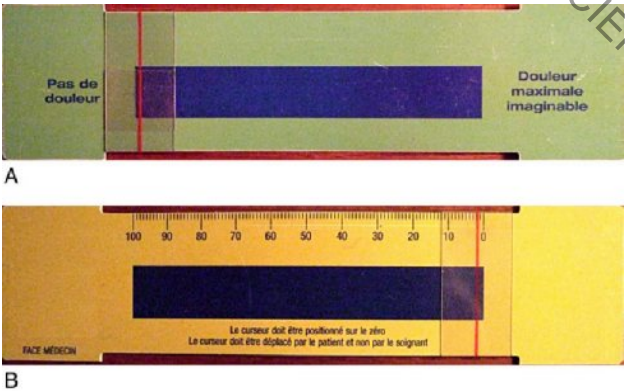


FIGURE 11.1. Échelle visuelle analogique.

Une face est présentée au patient (A) et l'autre face permet la lecture (B).

Face de mesure

La réglette est alors retournée sur son envers, gradué de 0 à 10, de droite à gauche. Le score d'EVA est visualisé par le trait rouge du curseur que le patient a positionné.

Une même évaluation est réalisée lors de la séance suivante afin de quantifier l'évolution.

11.2. Les normes et valeurs de référence

Alain Scheibel, Pierre Marie Gagey

Avec l'accession à la technologie, depuis plusieurs décennies, la recherche médicale constitue des banques de données concernant les constantes du corps afin de comparer une personne qui souffre à des centaines de personnes dites normales, par tous les moyens disponibles, et de faire en sorte que le patient revienne dans ces « normes ».

Il en est de même pour le posturologue. Les *Normes* 85 de stabilométrie situent le patient et son évolution par rapport à une population de référence. Des recherches cliniques tentent depuis les années 90 de constituer des banques de données pour les tests cliniques posturologiques.

Plusieurs problèmes se posent en termes de population de référence et de recrutement :

- il est difficile de définir un individu posturalement sain ;
- les tests cliniques, nécessaires à un diagnostic postural, sont nombreux ; il faut des références pour chacun d'entre eux ;
- le patient postural intéresse essentiellement le clinicien en pratique libérale. La recherche étant menée en libéral, les échantillons sont peu nombreux ; les résultats ou leur absence sont certes précieux, mais peuvent être sujets à caution.

Il semble ainsi nécessaire, dans tous les travaux présentés, d'intégrer dans la réflexion du thérapeute les critères de la population étudiée ou de l'échantillon envisagé : âge, sexe, type de recrutement, pathologie reconnue éventuelle, ou sans critère spécifique. L'absence de la prise en compte de ces précisions implique d'être prudent quant à l'interprétation des résultats de ces différents travaux et leur utilisation pour décider de l'entrée qu'il faut traiter en premier chez un patient.

Afin de pouvoir utiliser ces valeurs dans les meilleures conditions, il faut comprendre, si ce n'est utiliser, leur mise en œuvre décrite dans la partie III.

11.3. Le questionnaire postural

Alain Scheibel

Chaque spécialiste possède déjà son questionnaire. Il n'est pas question de le remplacer, mais d'ajouter des items spécifiques qui permettront d'orienter, si c'est bien le cas, vers une pathologie et un traitement postural.

Par les différents thèmes de questions abordés, il a pour but de rechercher des symptômes en rapport avec une ou plusieurs des entrées du SPA, des symptômes orientant vers une interférence mandibulaire, enfin des événements de la vie du patient reconnus comme susceptibles de perturber le fonctionnement du SPA.

Comme il a été vu dans la partie I, l'ordre d'apparition des symptômes n'est pas aléatoire ; il faudra noter leur date d'apparition et les classer par ordre chronologique.

Chaque symptôme doit être, si possible, coté quant à son intensité : l'utilisation de l'échelle visuelle analogique permet de le faire, mais d'autres échelles peuvent être utilisées [2] ; l'important est de vérifier leur validité.

Le questionnaire qui vous est présenté comme exemple (encadré 11.1), a été mis au point à l'Institut de posturologie entre 1985 et 2000. Il a permis de reprendre, *a posteriori*, certains dossiers complets et d'obtenir les résultats présentés dans le tableau 11.1. Les dates d'apparition des signes cliniques ont été ajoutées.

Encadré 11.1
Exemple d'interrogatoire à visée posturale
Motif de la consultation (exprimez en une seule phrase la raison de votre visite) :
.....
Suivez-vous actuellement un quelconque traitement, même sans rapport avec votre visite ? Oui Non
Avez-vous récemment arrêté un traitement ? Oui Non
Avez-vous des difficultés pour vous situer dans votre environnement ?
..... Oui Non
Si oui précisez :
Vertiges, sensations vertigineuses Date : Oui Non
Instabilité, marche déviée Date : Oui Non
Mauvaise appréciation des distances (dépassement en voiture)
..... Date : Oui Non
Visée difficile..... Date : Oui Non
Mauvais « équilibre de luxe » (vélo, skis, patins, etc.)
..... Date : Oui Non
Souffrez-vous de l'axe corporel (cou, dos, bassin, membres inférieurs) ?
..... Oui Non

Cou Date :
 Jamais Simple gêne Douleur Douleur intense Douleur aiguë
 Oui Non
 Dos Date :
 Jamais Simple gêne Douleur Douleur intense Douleur aiguë
 Oui Non
 Bassin, lombes Date :
 Jamais Simple gêne Douleur Douleur intense Douleur aiguë
 Oui Non
 Membres inférieurs Date :
 Jamais Simple gêne Douleur Douleur intense Douleur aiguë
 Oui Non
 Récidive après traitement : Médical classique ? Ostéopathique ? Postural ?
 Oui Non
Maux de tête ? Date : Oui Non
 Précisez où :
 Fréquence : Rarement Souvent Continuellement
 Intensité : Simple gêne Douleur Douleur intense Douleur aiguë
Yeux ?
 Avez-vous suivi une rééducation des yeux ? Date : Oui Non
 Avez-vous l'un ou plusieurs des ennuis suivants (si oui précisez) :
 Oui Non
 Fatigue, picotements, larmes (lecture, TV, travail sur écran) ... Date : Oui Non
 Autres problèmes ? Lesquels ? (Précisez) Date :
 Depuis quand portez-vous des lunettes ? Date :
 Depuis quand portez-vous la paire de lunettes que vous utilisez aujourd'hui ?
 Date :
Oreilles ?
 Douleur ? Problèmes d'audition (ou otites) anciens ou récents ?
 Date : Oui Non
Mâchoires et dents ?
 Avez-vous l'un ou plusieurs des ennuis suivants (si oui précisez) ?
 Oui Non
 Bruits, craquements, difficultés à l'ouverture ou fermeture de la mâchoire
 Oui Non
 Serrez-vous les dents la journée ? Oui Non
 Grincez-vous des dents la nuit ? Oui Non
 Dents usées, manquantes, remplacées ou « redressées » par un traitement ?
 Date : Oui Non
 Mastication difficile ou d'un seul côté Oui Non
 Avez-vous subi des extractions difficiles ? Date : Oui Non
 Chocs sur la face ? Date : Oui Non
 Travaux en bouche assimilés avec difficulté ? Date : Oui Non
Pieds ?
 Portez-vous ou avez-vous porté des semelles ? Date : Oui Non



Souffrez-vous de vos pieds ? Date : Oui Non

Avez-vous été victime :

d'un accident de la voie publique ? Date : Oui Non

d'un traumatisme crânien ou crânio-cervical ? Date : Oui Non

d'un coup du lapin ? Date : Oui Non

Historique

D'après vous, vos ennuis sont-ils en rapport avec un événement particulier, même lointain ? Date : Oui Non

Une maladie connue ? (Si oui précisez) Date : Oui Non

TABLEAU 11.1. Plaintes et données d’interrogatoire des 49 derniers patients ayant consulté à l’Institut de posturologie [1].

	Femmes n= 30	Hommes n= 19	Total n= 49	% de sujets présentant ces symptômes
Motif de consultation				
Vertiges	11	4	15	31 %
Douleurs	18	13	31	63 %
Troubles visuels	2	3	5	10 %
Autres	7	4	11	22 %
Interrogatoire				
Difficultés dans l’environnement	19	7	26	53 %
Hétérophorie	21	12	33	67 %
Autre problème ophtalmologique	12	9	21	43 %
Nouveaux verres correcteurs	8	1	9	18 %
Signes ORL	16	9	25	51 %
Dysfonction cranio-mandibulaire	17	8	25	51 %
Traumatisme crânien	5	4	9	18 %
Whiplash Injury (coup du lapin)	2	2	9	8 %
Céphalées	25	7	32	65 %
Souffrance de l’axe corporel	27	19	46	94 %
Antécédents podologiques	14	6	20	41 %

Les buts sont d’identifier un trouble du système postural, d’évaluer le contexte psycho-culturel du patient, de diminuer le temps de réponse, d’orienter l’examen clinique, de suspecter des pathologies lésionnelles associées, enfin d’orienter vers les thérapeutes appropriés.

Ces résultats sont donnés à titre indicatif. Chaque spécialiste de la posture, en fonction de ses contacts professionnels, aura probablement des résultats différents.

Conclusion

S'il veut envisager un problème du SPA, le thérapeute, quelle que soit sa spécialité, doit ajouter à son propre questionnaire une série de questions orientées vers les entrées du système ou vers une interférence mandibulaire.

De plus, la chronologie de l'apparition des symptômes semble essentielle dans la compréhension des adaptations que le corps doit vivre.

Bibliographie

L'échelle visuelle analogique

1. Maillon Y. Évaluation et suivi de la douleur chronique chez l'adulte en médecine ambulatoire. ANAES, Service des recommandations et références professionnelles. Février 1999. <http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/douleur1.pdf>.

Le questionnaire postural

2. Gagey P.M., Weber B., Scheibel A., Bonnier L. Le syndrome de déficience postural : Analyse rétrospective d'observations cliniques. (2002) In *Posture et équilibre : Contrôle postural, pathologies et traitement, innovations et rééducation*, M. Lacour, Solal, Marseille.

CHAPITRE 12

Mesure de la stabilité en statique et en dynamique

12.1. La stabilométrie

Pierre Marie Gagey

Il est nécessaire de répéter (voir partie I) que certains patients se plaignent de symptômes subjectifs en relation avec la position debout au repos. Dans cette posture, ils souffrent de douleurs chroniques de l'axe corporel (cervicalgies, dorsalgies, gonalgies, etc.) et/ou de sensations vertigineuses, d'instabilité. Nous supposons qu'il a été vérifié que leurs symptômes ne sont pas ceux d'une maladie classique. Tous ces patients, partout dans le monde, disent la même chose avec les mêmes mots. « Bien évidemment, il ne peut s'agir là d'une leçon apprise [1] ». L'accord entre tous ces patients, ce consensus intersubjectif, garantit que leurs symptômes subjectifs manifestent un problème objectif de « leur pouvoir de tenir droit debout », comme disait Aristote [2]. Devant de tels patients, le clinicien doit d'abord observer objectivement comment ils tiennent debout [3] en laissant entre parenthèses, dans un premier temps, le vécu subjectif de leur mal-être. D'où l'usage de la stabilométrie en posturologie pour observer et chiffrer la manière dont ces patients tiennent debout.

La stabilométrie introduit la mécanique, car elle mesure des forces, des couples, des moments. Grâce à des modèles biomécaniques de la station debout, le clinicien peut réfléchir sur les données brutes des forces mesurées par la plate-forme et calculer la position, la vitesse, l'accélération du centre de masse du patient [4]. Et bien au-delà de ces données biomécaniques de base, il peut poursuivre ses réflexions à l'aide des modèles biomécaniques et définir la stabilité du corps debout au repos, son coût, son économie, son temps de réaction, le niveau de son traitement par le SNC et bien d'autres choses encore. Tout cet enchaînement logique est parfaitement rationnel : on a le droit de réduire le phénomène « tenir debout » à une réalité mécanique, cela est cohérent, même si le modèle biomécanique de la station debout, actuellement utilisé en stabilométrie clinique, est grossier puisqu'il réduit le sujet à un pendule inversé pivotant autour des chevilles [5]. Ce modèle, cependant, est acceptable [6] car

on n'attend pas de la machine la finesse de l'examen clinique, mais des mesures qui apporteront un peu de rigueur, y compris dans le langage.

La France a été le premier pays à s'intéresser à la définition des limites de normalité du fonctionnement postural grâce à une normalisation de la stabilométrie clinique : plate-forme normalisée, conditions des enregistrements normalisés, analyse du signal normalisée, ce qui a permis de fournir aux cliniciens des valeurs de référence [7]. Trente années d'expérience de cette stabilométrie normalisée nous permettent de dire que la Société internationale d'étude de la posture et de la marche (ISPGR) aurait eu raison de vouloir définir des normes internationales de stabilométrie clinique. Malheureusement, l'ISPGR a décidé de ne rien décider, devant le nombre trop important de décisions arbitraires à prendre sur toute sorte de sujets. Les posturologues latins ont donc décidé de définir les normes latines de stabilométrie clinique en considérant qu'il appartient à la définition même de la stabilométrie de prendre des décisions arbitraires : **la stabilométrie observe et mesure comment un homme arrive à se stabiliser dans des conditions arbitraires qui lui sont imposées**. Il s'agit d'une stabilométrie qui :

- travaille sur un signal mécaniquement « clair » (la position du centre de gravité) et non sur un signal mélangeant diverses variables mécaniques (la position du centre de pression) [8] ;
- permet d'utiliser un modèle biomécanique du contrôle postural, indispensable à notre réflexion ;
- situe la verticale de gravité dans son environnement mécanique : le squelette.

Tous les stades de publication des normes latines de stabilométrie clinique, *Normes 13*, sont disponibles sur le forum : <http://clinicalstabilometry.free-forums.org/>, avant leur publication dans la revue *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*.

Les paramètres stabilométriques

Le paramètre X-moyen

Nous savons que la verticale de gravité est normalement située très précisément dans le plan frontal du squelette, à quelques millimètres près. Il n'a jamais été démontré, à notre connaissance, qu'une position anormale de cette verticale entraîne des contraintes anormales au niveau des articulations. Par contre, au cours d'un traitement réussi, on constate régulièrement et simultanément que la verticale revient en position normale et que les douleurs de l'axe corporel disparaissent. Ce paramètre X-moyen est réputé fiable et intéressant par les cliniciens.

Les paramètres Y-moyen et AfY

Dans le plan sagittal, la position de la verticale de gravité est beaucoup plus variable. On admet que la tension des tissus des loges postérieures des jambes

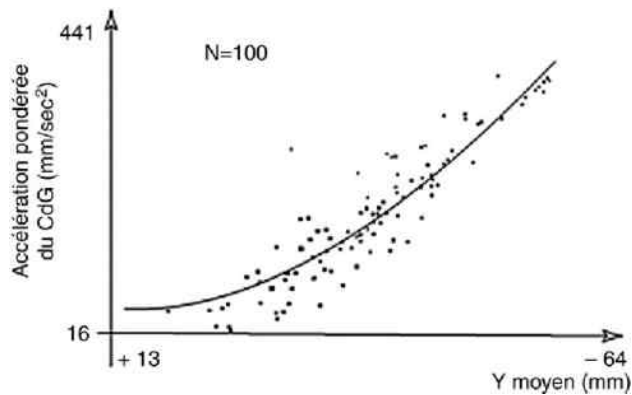


FIGURE 12.1. Paramètre AfY.

Le paramètre AfY est représenté par la position du sujet par rapport à la droite de régression de la corrélation Tension/Contraction. Le marqueur de la tension est la position en Y-moyen, le marqueur de la contraction est l'accélération du centre de gravité. La position en Y est « rectifiée » pour améliorer la courbe de régression.

augmente lorsque le sujet est plus penché en avant. On sait que cette tension, à elle seule, ne suffit pas à stabiliser la position de la verticale de gravité [9-11]. Des bouffées de contractions musculaires sont nécessaires pour parfaire cette stabilisation [12, 13]. On constate, de fait, que plus le sujet est penché en avant, moins nombreuses sont ces contractions musculaires, ce qui est attendu puisque les tissus des loges postérieures sont alors plus étirés. Il existe donc normalement une corrélation inverse entre tension et contraction. Or, cette corrélation peut être modifiée par le tonus de base du sujet : si le sujet est hypertonique, la stabilisation de la verticale aura moins besoin de contractions musculaires, et inversement s'il est hypotonique. Cette dernière remarque intéresse le clinicien puisqu'elle lui permet d'avoir une idée chiffrée du tonus de base de son patient. Il suffit d'observer (figure 12.1) si l'importance des contractions musculaires du sujet se trouve sur la droite de régression « Tension/Contraction » (normotonique), au-dessus d'elle (hypotonique, il a besoin de plus de contractions musculaires) ou en dessous d'elle (hypertonique). L'importance des contractions musculaires est chiffrée par l'accélération du centre de masse ; on suppose qu'aucune impulsion du centre de masse n'a été provoquée par un agent extérieur au cours de l'enregistrement stabilométrique. Ce nouveau paramètre est nommé AfY puisqu'il observe l'accélération du centre de masse (A) en fonction (f) de la position moyenne de la verticale de gravité dans le plan sagittal (Y). Il remplace l'ancien paramètre VfY qui était utilisé, faute de connaître l'accélération du centre de gravité, grâce à la variance de la vitesse (V)¹.

1. La date de publication des valeurs de référence des nouveaux paramètres est à vérifier sur le forum : <http://clinicalstabilometry.freeforums.org/>.

La stabilité

L'homme n'est jamais en équilibre statique, il est incapable de garder alignée sa verticale de gravité avec la résultante des forces de réaction du sol. Il est donc en équilibre dynamique, que les physiiciens caractérisent par un « zéro », la somme des forces étant nulle. Ce zéro invariable de la situation d'équilibre dynamique vue par les physiiciens n'intéresse absolument pas le posturologue, il ne lui apprend rien sur l'aplomb.

Mais si l'homme n'est jamais en équilibre statique, il est par contre stable. La stabilité est la propriété d'un corps qui revient spontanément au voisinage de sa position moyenne lorsqu'il en est écarté. Et ce concept de stabilité, contrairement au concept d'équilibre, apporte énormément d'informations au posturologue : il peut mesurer la précision de cette stabilité, son coût énergétique, son rapport économique précision/coût, son temps de réaction, etc.

La précision de la stabilité : le paramètre de « surface »

Lorsque la projection de la verticale de gravité d'un homme debout décrit de larges boucles à l'intérieur de son polygone de sustentation, il est usuel de dire qu'il est instable ; la précision de sa stabilité est médiocre. À l'inverse, on dira du funambule, capable de maintenir sa verticale de gravité à l'intérieur d'un cylindre de quelques millimètres carrés de section, que la précision de sa stabilité est excellente. La précision de la stabilité est donc mesurée par l'importance de l'écart moyen de la verticale de gravité par rapport à sa position moyenne. Cet écart type peut être calculé par rapport à la distribution uniquement des abscisses, ou uniquement des ordonnées, de la position du centre de gravité², ou mieux par rapport à la distribution de l'un ET de l'autre. On utilise alors la surface d'une ellipse de confiance³ qui contient 90 % des positions échantillonnées du centre de gravité [14]. La précision de la stabilité d'un sujet est donc mesurée par la surface de cette ellipse.

Le coût énergétique de la stabilité : le paramètre d'accélération du centre de gravité

Lorsque la verticale de gravité se déplace vers l'avant, l'arrière, la droite, la gauche et qu'elle est brusquement ramenée vers sa position moyenne, le centre de gravité est soumis à une accélération endogène due à une contraction musculaire adaptée au mouvement nécessaire. Il suffit donc de mesurer l'accélération du centre de gravité pour chiffrer le coût énergétique de la stabilisation. Plus l'accélération est importante, plus le temps des déplacements du centre de gravité sera important, et donc plus la longueur de ces déplacements au cours de la durée de l'enregistrement sera importante. Longueur, vitesse, accélération

2. Le centre de gravité est la projection au sol du centre de masse.

3. On utilise l'ellipse dont le grand axe est la droite des moindres carrés du nuage de points.

des déplacements du centre de gravité sont corrélées. Avant de savoir calculer l'accélération du centre de gravité, on utilisait la longueur des déplacements du centre de pression comme marqueur de l'énergie dépensée.

Le rapport économique coût/précision : le paramètre AfS

On ne peut pas se contenter de mesurer la précision de la stabilité d'un sujet sans s'occuper de la quantité d'énergie dépensée pour obtenir cette précision, cette quantité étant différente chez tous les sujets. Le rapport économique coût/précision nous apporte une information supplémentaire sur la manière dont fonctionne le système postural d'aplomb du sujet étudié.

Le meilleur moyen d'analyser ce rapport économique est de comparer, par un quotient, l'énergie effectivement dépensée à l'énergie normalement dépensée pour la précision observée. Ce paramètre AfS correspond au vieux paramètre LfS qui était utilisé avant de savoir calculer l'accélération du centre de gravité. A : accélération, F : en fonction de, S : la surface.

Le temps de réaction du système postural d'aplomb

La courbe de l'accélération du centre de gravité en fonction du temps laisse apparaître très clairement des bouffées d'accélération qui poussent le centre de gravité d'une zone où il stagnait vers une zone suivante où il stagnera à nouveau [15]. Or, ces bouffées d'accélération n'ont pas du tout le même profil chez tous les sujets. Les sujets âgés, par exemple, présentent une fréquence des pics d'accélération plus importante que les sujets jeunes, comme s'ils étaient toujours en train de rattraper leur retard dû à la relative lenteur de leurs réactions. Le temps de réaction du système postural d'aplomb n'est pas le même chez tous les sujets. Dans la tradition de la physique, la grandeur, homogène à un temps, qui caractérise la rapidité de l'évolution d'une grandeur physique dans le temps se nomme « constante de temps ». Par analogie avec le calcul de la constante de temps en physique, le temps de réaction du système postural d'aplomb est calculé grâce à la courbe d'autocorrélation de l'accélération du centre de gravité en fonction du temps : on repère le point de cette courbe qui présente, en ordonnées, une valeur déterminée du coefficient de corrélation, l'abscisse de ce point donnant la valeur du « temps de réaction ».

Grâce aux banques de données de Boutines et al. [16] et Dudde et al. [17], nous avons choisi l'abscisse du « 0,5 crossing » de la courbe d'autocorrélation de la fonction d'accélération du centre de gravité pour déterminer le temps de réaction du système postural. Plus basse est la valeur de ce paramètre, plus lente est la réaction du sujet aux déstabilisations.

À la demande de M. Ouaknine, ingénieur et concepteur de plates-formes et logiciels de stabilométrie qui promeut certains paramètres stabilométriques, ce paramètre est nommé « intervalle balistique ».

Cortical ou sous-cortical ?

Si un sujet debout sur une plate-forme imprime volontairement un mouvement circulaire régulier à son centre de masse, alors les déplacements de ce centre seront égaux sur les axes Ox et Oy, et seront en phase. L'analyse fréquentielle du signal stabilométrique recueilli dans ces conditions fait apparaître un tracé parfaitement sinusoïdal amorti de la fonction d'intercorrélation du signal. Nous considérons donc qu'un tel tracé signe la prise en charge corticale du contrôle postural. Dans les conditions normales, où le contrôle postural est automatique, le tracé de la fonction d'intercorrélation est stochastique.

L'interprétation de cette prise en charge corticale n'est pas évidente, car il peut s'agir d'une simulation consciente d'instabilité, mais aussi d'une sursimulation plus ou moins consciente, et surtout d'une d'angoisse prononcée qui pousse le sujet à ne pas laisser ses centres sous-corticaux prendre en charge le contrôle de sa stabilité [18].

La cadence ventilatoire

Les mouvements ventilatoires mobilisent des masses relativement importantes du corps. Il serait donc normal que ces mouvements ventilatoires apparaissent sur le signal stabilométrique. Or, chez le sujet normal, on ne voit rien apparaître, même sur des analyses fréquentielles à la recherche de quelque chose qui se passe dans la bande 0,2 Hz, la fréquence ventilatoire. Par contre, la présence d'un pic anormal d'amplitude dans cette bande de fréquence a été signalée par divers auteurs au cours de maladies variées, comme des tumeurs cérébrales [19], des névrites vestibulaires [20] et des lombalgies [21]. Nous admettons que ce pic à 0,2 Hz est en rapport avec une hypertonie des muscles paravertébraux bloquant les mécanismes de compensation qui, normalement, empêche le rythme ventilatoire d'apparaître sur les tracés stabilométriques [22].

La présence d'amplitudes anormales dans la bande de fréquence 0,2 Hz est vérifiée par une comparaison de la moyenne des amplitudes dans cette bande de fréquence à la moyenne des amplitudes des oscillations posturales dans les fréquences posturales, ce qui a été nommé les paramètres ANØ2X et ANØ2Y [23]. Des faux positifs de ces paramètres existent : une seule oscillation posturale de grande amplitude d'une période de 5 secondes, sans aucun rapport apparent avec la ventilation, peut donner une valeur anormale de ces paramètres. Il faut donc vérifier qu'une telle oscillation n'apparaît pas sur le stabilogramme ; elle est en général bien visible et, en cas de doute, une analyse par ondelettes met clairement en évidence l'origine de ce faux positif [24], ou, plus simplement, un nouvel enregistrement du sujet en apnée.

Autres paramètres

Il existe de nombreux autres paramètres, en particulier des paramètres propres aux sabots stabilométriques [28] qui permettent d'enregistrer séparément les centres de pression sous le pied droit et sous le pied gauche [29]. L'expérience montre que les cliniciens se sentent un peu débordés par cette masse d'informations possibles, et préfèrent en général limiter le nombre de paramètres qu'ils utilisent à ceux qu'ils comprennent bien.

L'intégration sensorielle

Il est actuellement généralement admis que le contrôle de la posture orthostatique utilise une multitude d'informations provenant de nombreux capteurs différents. Reuven Kohen-Raz a montré que le système nerveux central a parfois des difficultés à intégrer toutes ces informations multiples, chez les autistes en particulier. Il a constaté que leur contrôle postural s'améliore au fur et à mesure que l'on réduit le nombre d'informations disponibles [25]. Le protocole ordinaire d'un bilan stabilométrique comporte donc une réduction progressive des différentes sources d'informations posturales. Le sujet est d'abord enregistré dans l'état où il arrive puis, progressivement, on supprime une à une ses diverses prothèses, avant de l'enregistrer les yeux fermés, les pieds sur une couche mousse, etc. Lorsque la manipulation d'une entrée du système postural d'aplomb a provoqué une modification du contrôle postural, il est impossible de savoir si le problème provient d'une anomalie de cette entrée (par exemple, des verres correcteurs mal adaptés) ou du rôle des informations fournies par cette entrée dans l'intégration sensorielle. Cette ambiguïté justifie le protocole ordinaire du bilan stabilométrique qui seul permet d'expliquer le rôle anormal d'une entrée par ailleurs normale. Les névrites vestibulaires, par exemple, se comportent souvent comme des aveugles posturaux, alors que leur vision est parfaite, ou parfaitement corrigée, mais l'information posturale rétinienne d'un glissement de l'image a besoin d'être comparée aux informations vestibulaires : ce glissement est-il dû à un mouvement du corps ou à un mouvement de l'espace visuel ? En cas de névrite vestibulaire, cette ambiguïté ne peut être levée ; par conséquent, le signal rétinien ne peut pas être utilisé par le contrôle postural, d'où le comportement de ce sujet similaire à celui d'un aveugle postural alors que sa vision est parfaite [26].

La répétabilité des paramètres stabilométriques

La répétabilité des paramètres stabilométriques [27] a été largement attaquée par des auteurs qui ne savaient pas lire le français. En effet, en 1985, le travail sur le sujet n'a été publié que dans les *Normes 85* [7]. Il s'agit d'un travail très rigoureux, dont l'industrie pharmaceutique a eu besoin à cette époque, et grâce auquel nous connaissons moyennes, écarts types, limites de confiance à 95 % de la différence appariée de paramètres stabilométriques mesurés dans les mêmes conditions à divers intervalles de temps, de 3 minutes à 4 semaines.

Centre de pression et centre de gravité

La plate-forme mesure la position du centre de pression, point d'application de la résultante des forces de réaction qui s'opposent au poids du sujet. Il faut savoir que, pendant 40 ans, les posturologues ont travaillé sur cette position du centre de pression car ils ne savaient pas encore calculer la position du centre de gravité à





partir de ce signal. Or, ce signal du centre de pression mélangeait en fait deux variables : la position et l'accélération horizontale de la projection du centre de masse sur le plan du sol (nommée centre de gravité). Plusieurs algorithmes permettent de calculer la position du centre de gravité en connaissant la position du centre de pression. Il est nécessaire de choisir l'un d'entre eux pour la construction des normes latines de stabilométrie. La communauté des posturologues latins utilise celui de B. Gagey, qui nous paraît le plus simple, le plus juste et, mathématiquement, le plus élégant [4].

12.2. Le test de Hess-Weiss, coordimétrie de version à visée posturale

Françoise Zamfirescu, Isabelle Coupin

Le coordimètre de Jean-Bernard Weiss [30], appelé Hess-Weiss, est un test subjectif qui requiert la participation du sujet. C'est un test validé, reproductible, non opérateur dépendant. Le dispositif donne une perception simultanée, une dissociation binoculaire, soit la perception d'une image différente pour chaque œil, correspondant au 1^{er} degré de la vision binoculaire. La dissociation est équivalente à un test de Maddox (voir chapitre 7.4).

Le dispositif

Sur une feuille carrée de papier beige, mesurant 1,20 mètre de côté, normalement éclairée en vision photopique, est imprimé un quadrillage de repérage rouge à faible contraste (figure 12.2.C). Chaque carré du quadrillage mesure 2,5 cm, ce qui, pour un sujet placé à une distance d'examen de 50 cm, correspond à 5 dioptries prismatiques. Tracés sur un carré de 60 cm de côté, huit points cardinaux correspondent aux chiffres rouges de 1 à 8 ; le point central 0, représentant la direction primaire droit devant soi, est placé à hauteur des yeux du sujet assis dont la tête est posée sur une mentonnière. Solidaire à celle-ci, un appui-front évite les mouvements de tête.

Deux filtres colorés, rouge et vert, sont placés, respectivement devant l'œil droit et gauche du sujet (figures 12.2.A et 12.2.B). Ils sont dits « complémentaires » : les deux couleurs superposées des filtres font disparaître l'écran et le point lumineux. Un faisceau laser tenu par le sujet projette un point lumineux rouge sur l'écran. L'œil derrière le filtre vert ne voit que le quadrillage, c'est l'œil fixateur ; l'œil derrière le filtre rouge ne voit que le faisceau, c'est l'œil

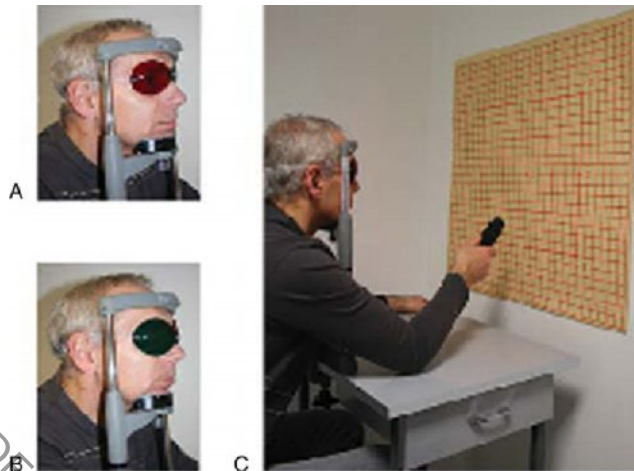


FIGURE 12.2. A. Position de la tête ; l'œil droit voit le point lumineux. B. L'œil droit voit le quadrillage. C. Le sujet, assis à 50 cm de l'écran, pointe avec le faisceau laser un point précis.

localisateur. Le sujet est assis. La hauteur des yeux est réglée de façon à ce que le canthus externe (angle entre les paupières supérieure et inférieure) coïncide avec le trait du montant de la mentonnière (figures 12.2.A et 12.2.B).

Méthode

Sur ordre, le patient doit placer le point rouge sur le point qui correspond au numéro demandé. La tête reste parfaitement fixe, seuls les yeux bougent.

Sur un quadrillage identique à l'écran reporté sur une feuille de papier, l'observateur note la réponse, c'est-à-dire la position du point lumineux que lui voit lorsque le sujet dit atteindre le numéro.

Classiquement, on commence par le filtre rouge devant l'œil droit, puis les lunettes sont inversées pour les réponses de l'œil gauche.

La forme libre

Dans l'utilisation initiale, sachant que chaque point périphérique correspond à la direction d'action principale du champ d'action d'un des 6 muscles oculomoteurs de chaque œil, l'autre fixant le point de référence, on peut ainsi mesurer l'équilibre dans les 9 positions diagnostiques du regard (figure 12.3). Tout déséquilibre constaté peut être interprété et contribuer au diagnostic d'une hétérophorie, d'une parésie ou d'une paralysie oculomotrice hautement pathognomonique et orientant vers une localisation de l'atteinte.

Sur les schémas de notation des réponses, on a indiqué les points correspondant aux champs d'actions musculaires principaux pour chaque œil.

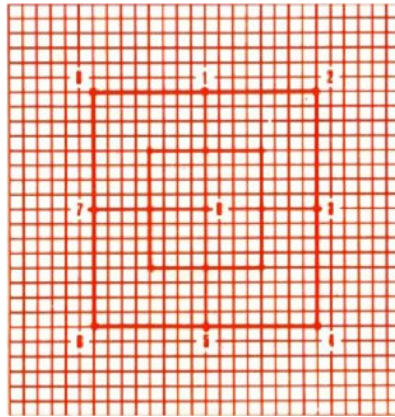


FIGURE 12.3. Schéma du coordimètre de forme libre.

La forme à choix multiples

La présence d'une trame de points noirs en carrés sur l'écran (figure 12.4), perçue par les deux yeux derrière les filtres rouge et vert, rend possibles, malgré la variation des axes oculaires, la fusion binoculaire et l'accommodation pour une vergence donnée. L'efficacité de la fusion accommodative peut modifier et même compenser la déviation latente, comme « une phorie sans dissociation ». Quantifiée sur la forme libre, elle se trouve alors modifiée par celle à choix multiples.

Que cette grille de points soit perçue en eso ou exo-disparité dans cet espace binoculaire proche de l'horoptère n'est pas pris en considération.

Le sujet, grâce à sa fusion et à l'accommodation conjointe requise, peut modifier son équilibre binoculaire, démontrant ainsi la force de la composante sensorielle de sa vision binoculaire et permettant d'envisager la possibilité d'un traitement orthoptique.

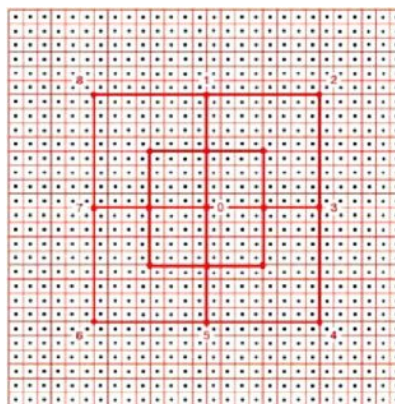


FIGURE 12.4. Schéma du coordimètre de forme à choix multiples.

Interprétation

La localisation du point lumineux par rapport à sa position idéale sur l'écran indique l'équilibre binoculaire du sujet dans une direction donnée. Il mesure, en dioptrie, l'écart de l'axe visuel d'un œil tandis que l'œil adelphe choisit et fixe un point de l'écran. En cas de décalage, les réponses sont interprétées en hypo ou hyperaction, hypo ou hypertonie d'un muscle oculomoteur.

La torche de Kratz allie la projection d'un trait lumineux qui coupe le faisceau rouge. La consigne est alors de superposer le point lumineux sur le point nommé et de caler le trait lumineux sur le trait vertical. Toute inclinaison du trait lumineux signe une torsion oculaire.

La correspondance est totale avec le test de l'écran alterné qui révèle le mouvement de refixation produit quand un sujet fixe un point de l'espace alternativement avec l'un ou l'autre œil ; la valeur de l'angle est mesurée par ajout de prismes compensateurs.

Le coordimètre de forme libre donne une lecture instantanée et quantitative de l'angle de déviation latente, correspondant à la localisation du point lumineux.

Le Hess-Weiss postural

De nouvelles versions ont été proposées pour augmenter la sensibilité du test :

- en 1981, Ardouin et ses collaborateurs [31] mettent au point, pour une étude de la manœuvre de Bielchowski, un dispositif qui incline l'écran et la tête simultanément ;
- dans le début des années 80, Larmande propose de placer les patients à une distance d'un mètre d'un écran de deux mètres de côté, dont les points extrêmes à atteindre sont à vingt centimètres du bord, le carroyage restant identique à l'écran initial. Brouet, en 1984 [32], montre alors que l'angle balayé par l'œil n'est pas le même pour toutes les directions habituellement explorées, ce qui peut être source d'erreurs ;
- la distance d'un mètre est conservée pour reproduire la distance de fixation en posturographie.

Plusieurs protocoles sont alors mis en place par C. Marucchi et P.M. Gagey afin d'évaluer les déplacements de l'écran sur la droite pour étudier les points 2, 3 et 4 à l'extrême droite, et sur la gauche pour étudier les points 6, 7 et 8 de l'extrême gauche ; pour le droit devant, on utilise les points 1, 0 et 5. Le déplacement de 0,37 m en dextro et lévoversion a été retenu comme étant le plus pertinent selon Marucchi C. en 1987 [33].

V. Calage fait son mémoire d'orthoptie sur la reproductibilité et l'aspect non opérateur dépendant de cette proposition, sur 16 sujets sains, avec un bilan ophtalmologique et orthoptique normal. La reproductibilité entre test et retest à 2 mois est de 90 %. Chez ces sujets sains, des incomitances ont été retrouvées entre test et retest [34]. Ce protocole est nommé « Hess-Weiss postural ».

Une autre étude en 1994, cette fois sur des patients posturaux, a montré que la pose d'un prisme postural actif modifie le test dans la minute qui suit dans 28 % des cas [35].

Depuis les années 2000, différents protocoles ont montré les liens entre les yeux et la bouche en modifiant les résultats du Hess-Weiss postural en fonction de l'occlusion dentaire et de sa correction par un dispositif interdentaire (DIO) [36].

En 2012, Boschero [37] vérifiait l'influence de la proprioception et de l'extéroception plantaire en comparant le test assis et debout. Un dispositif lie la mentonnière et l'écran. La cohorte de sujets sains était insuffisante pour valider les statistiques. L'étude se poursuit sur des sujets sains, ainsi que sur patients posturaux. Une publication prochaine est attendue dans le *Journal français d'orthoptie* (JFO).

Mais, comme déjà noté par Brouet en 1984 [32], il y a les limites physiques du quadrillage...

La proposition d'un écran posturologique de coordimétrie

La coordimétrie de version ne s'intéresse qu'aux positions extrêmes du regard ; ainsi, seule la partie extérieure de l'écran présente un intérêt pour l'examen, étant entendu que le centre, point de fixation initial du regard, constitue un repère essentiel et doit donc être préservé. Marucchi, Weber et Gagey ont proposé un nouveau modèle : un écran de 2 m de côté, avec un point central, des axes représentant les axes des prismes posturaux (0° , 55° , 125° ...), pas de quadrillage au milieu de l'écran, mais des cercles concentriques distants de 2,5 cm s'espçant de 80 à 100 cm du point central en conservant les couleurs complémentaires du Hess-Weiss traditionnel. Cette méthodologie n'a pas encore été validée.

Le bilan orthoptique à visée posturale

Le bilan orthoptique permet d'analyser l'état des composantes, sensorielles et motrices, de la vision binoculaire d'un patient avec ses symptômes, les stratégies et les compensations mises en place dans la vie quotidienne [38, 39].

À l'origine, l'École française de posturologie proposait une correction des troubles posturaux par des prismes de faibles puissances, entre 1 à 3 dioptries, à base temporaire, dont l'action portait préférentiellement sur les muscles horizontaux, droits médiaux et latéraux.

L'École portugaise de posturologie propose depuis 1986 une correction des troubles posturaux par des prismes de faible puissance également, en se basant sur l'étude des amputations d'images ou pseudo-scotomes [40], par les tests de premier degré, en dextro et lévoversion, pratiqués au synoptophore. Ces prismes agissent essentiellement sur les muscles obliques supérieurs.

Selon notre expérience, cette notion de pseudo-scotomes est liée à une incomitance motrice.

Le test de Hess-Weiss postural proposé par l'école française permet de choisir un seul prisme de faible puissance – entre 1 et 3 dioptries – qui agit dans le champ d'action de l'un des douze muscles oculomoteurs. Ce choix doit être validé par d'autres tests du bilan postural, notamment par la loi des Canaux qui met en relation six des douze muscles oculomoteurs et le côté de la prévalence déterminé par le test de piétinement.

Le prisme postural

Le regard semble orienter les oscillations de la projection du centre de masse. Le système postural d'aplomb semble asservi à la direction du regard. Selon ce principe, tout prisme qui dévie le regard vers la droite produirait un déplacement de la projection du centre de masse vers la droite [41].

L'efficacité de la modification sur l'équilibre binoculaire apportée par un prisme compensateur ou exercice à finalité posturale est constatée immédiatement. Le glissement du panorama induit par le prisme et le changement de direction du regard est directement enregistré par le déplacement des réponses de localisation du point lumineux dont le sujet a le contrôle sur le Hess-Weiss postural.

Discussion

Chaque outil clinique impose ses principes de construction et d'utilisation, mais gardons à l'esprit ce que l'on veut essayer de qualifier, quantifier, objectiver comme mode de fonctionnement. Le déficit, le déséquilibre, la modification par une prothèse quelconque seront constatés jusqu'au succès d'un protocole thérapeutique. C'est ce que permet ce test subjectif qui, bien accompagné par une introspection dirigée, apporte compréhension et cohésion entre les signes objectifs, signes fonctionnels, et le vécu du sujet. L'appareillage est facile à utiliser et répond aux exigences de simplicité de la clinique.

Conclusion

Le Hess-Weiss, ou coordimètre, est un test validé, non invasif, reproductible, non opérateur dépendant ; c'est le seul test orthoptique reconnu dans les expertises.

La simplicité de mise en place du test de Hess-Weiss postural, le fait qu'il soit validé, reproductible, non opérateur dépendant, en font un test précieux.

Il est souhaitable de prendre en considération, dans le bilan orthoptique à finalité posturale, les composantes sensorielles et motrices de l'entrée visuelle. Le dispositif du Hess-Weiss postural complète l'ensemble des mesures indispensables des capacités perceptives.

12.3. La podométrie

Jean-Yves Cornu

La podométrie est l'application de méthodes de mesure à la caractérisation du pied. Les méthodes adoptées contribuent à une ambition commune des cliniciens : délivrer des caractéristiques chiffrées dans le but de décrire le pied le plus précisément possible. Il peut aussi s'agir de décrire le comportement du pied lors de ses sollicitations, conséquences visibles de son adaptation biomécanique à son cahier des charges. Les informations ainsi exploitables dépendent donc avant tout du type d'outil utilisé, de la classe des « dispositifs médicaux », et des protocoles qui lui sont attachés. Plutôt que d'établir un catalogue commenté des mesures possibles, il semble plus important d'insister ici sur la contribution de la podométrie à la compréhension des désordres posturaux, en privilégiant l'approche clinique du praticien assistée par des moyens de mesure accessibles.

Les principes de la podométrie

L'objectif couvre une étude de dimensionnement, de charges et contraintes subies, mais aussi du facteur temps et des modifications des paramètres qu'il entraîne pour des conditions d'exercice données. Le but final peut être de passer d'une connaissance anatomique à un état des lieux susceptible d'alimenter des modèles pour simulation, mais aussi de recueillir des arguments nécessaires à l'analyse puis à la prise en charge des pieds pathologiques ou dans l'activité quotidienne du clinicien.

Nous sommes ainsi dans un domaine qui concerne les statistiques anthropologiques sur le vivant, de la croissance du pied à son altération pathologique, mais aussi son imagerie, les analyses biomécaniques, les suivis des effets thérapeutiques à moyen et long terme, l'appareillage du pied, ... La podométrie est donc au centre de toute réflexion sur les pathologies et les développements de l'offre thérapeutique le concernant, mais aussi de toute approche de son comportement physiologique, des activités quotidiennes communes aux conditions limites.

Concernant la fonction posturale du pied, les exigences métrologiques (science de la mesure) seront classables en deux domaines : le pied en charge sans déplacement spatial des zones d'interfaçage pied-support (même si celles-ci se modifient au cours du temps d'observation) ; le pied en charge alors que les références spatiales des zones d'interfaçage changent, ceci plus ou moins rapidement et plus ou moins cycliquement. Dans la première situation, le corps peut bouger, ce qui est l'essence même de l'équilibration si le support devient mobile ou si le corps, *via* les membres supérieurs, interagit avec l'environnement. Il peut aussi ne pas bouger du point de vue de son alignement intersegmentaire, mais subir des déplacements limités idéalement assimilables à un pendule inversé, comme c'est le cas des conditions d'enregistrement normalisé

en posturologie. C'est cette dernière condition qui a malheureusement encouragé le terme de comportement statique, alors même que l'acquisition de phénomènes dynamiques au cours de cette observation « statique » doit faire parler d'« acquisition stato-dynamique », par différenciation avec les acquisitions dynamiques quand les lieux d'interfaçage pied-support se déplacent et/ou s'alternent dans le temps.

Les différentes directions

Les objectifs

Dans le domaine métrologique, les outils utilisés vont être choisis selon les objectifs préalablement définis. Il y aura des paramètres directement exploitables, par exemple la pointure ou la largeur de l'interligne métatarso-phalangien. D'autres seront faussement directement exploitables car soumis aux spécificités des outils utilisés et des protocoles déployés. C'est le cas de la surface d'interfaçage pied-support. Il y aura enfin des mesures indirectes qu'il conviendra d'exploiter puis d'interpréter par rapport à la motivation de cette quête métrologique : les discussions autour de la posturographie à propos des normes de plate-forme et de leurs rendus en illustrent toute la difficulté.

De ce constat du rôle des outils et des protocoles d'acquisition, est née notre habitude clinique de différencier des évaluations accessibles au praticien dans sa pratique clinique quotidienne de celles constituant un « travail de recherche ». Ce dernier comporte aussi bien des tests nécessitant des modes opératoires planifiés et disposant d'un temps d'acquisition suffisant, mais peu coûteux en termes d'investissement pour l'outil dédié (parfois déjà classé comme dispositif médical, c'est-à-dire agréé et certifié), que des tests seulement réalisables sur un plateau technique sophistiqué et onéreux, ou utilisant un outil prototypé. Selon l'intérêt du praticien et son engagement dans une voie « métrologique », la posturologie utilisant une plate-forme normalisée et un environnement conforme aux protocoles recommandés par les différentes sociétés savantes œuvrant sur cette question, l'épreuve posturologique standardisée datant de près de trois décennies est accessible au praticien en pratique courante. Mais elle apparaît déjà comme un exercice d'exception en temps ou lieu dédié. En fait, les limites d'accessibilité d'une pratique métrologique seront parfois déplacées selon l'investissement clinique du praticien dans le champ de la posturologie. L'illustration du flou de ces frontières apparaît clairement pour des kinésithérapeutes qui se sont spécialisés dans la rééducation vestibulaire et pour lesquels les outils d'évaluation et de rééducation finissent même par se confondre.

Mais, avant même de détailler les objectifs, les termes de « rigueur métrologique », et de « prudence dans l'interprétation » s'imposent à tout pratiquant d'une acquisition podométrique. En témoigne l'usage du fil à plomb pour vérifier la projection de l'alignement du corps au-dessus de l'arrière-pied qui nécessite les mêmes obligations de rigueur lors de l'acquisition, avant d'en tirer des enseignements, que la pratique de tests d'analyse du mouvement !

Classement des objectifs

Ils peuvent arbitrairement être classés en 6 groupes : dimensionnement géométrique du pied, caractérisation géométrique de l'interface, caractérisation des charges et réactions au sol lors du protocole, modifications enregistrées du pied sous charges évolutives appliquées, comportement cinématique et enfin regroupement de divers autres objectifs plus spécifiques ou moins partagés par la communauté des praticiens. Les trois premiers groupes d'objectifs sont les plus concernés en clinique quotidienne de posturologie, car ils sont rendus très accessibles par leurs dispositifs médicaux. Ainsi, les questions se posent pour chaque groupe : s'agissant du dimensionnement géométrique du pied, la question devient importante dès lors que les conditions pathologiques (malformation ou amputation pour l'essentiel) modifient amplitudes et proportions du dimensionnement du pied ; l'arrivée des scanners et leur probable baisse de prix ont considérablement enrichi la documentation morphologique du pied, tandis que l'imagerie peut devenir accessible au praticien avec les échographes dédiés. La caractérisation surfacique des conditions d'interfaçage dépend beaucoup du facteur temps imposé simultanément. La démarche est purement descriptive quand il s'agit d'apprécier l'adaptation du sujet à des conditions pathologiques (flessum important, inégalité marquée de longueur entre les membres inférieurs). Le facteur temporel introduit la caractérisation des surfaces utilisées lors d'un protocole dynamique en relation avec la disponibilité de la surface plantaire en protocole stato-dynamique. Enfin, l'étude des pressions et forces à l'interface est le groupe d'objectifs le plus communément commenté en posturologie. Pour les autres groupes d'objectifs, citons tous les outils vidéo ou optiques, parfois simples à utiliser et de plus en plus accessibles. Des dispositifs de type « capteurs embarqués » permettent aussi, en pratique courante, de s'intéresser à la variation de l'angle tibio-calcanéen *a minima*, lors de l'équilibration.

Les attentes en clinique de l'adaptation posturale

Dans un bilan de pied, sa contribution à l'adaptation posturale est régulièrement minimisée sinon oubliée. Ce « pied postural » est pourtant l'un des 6 domaines d'expression biomécanique, qu'il s'agisse de pied physiologique ou de pied pathologique, à côté des autres domaines que sont la déformabilité par mosaïsme, l'organisation du pied en sous-segments interactifs, la mobilisation de ces segments par coordination musculaire, le caractère suspendu de la structure pied, le comportement viscoélastique global sous charge. Il est aisé de comprendre que l'interprétation de tests étudiant les performances du pied postural ne peut intervenir qu'une fois les autres domaines d'expression biomécanique précisés.

S'agissant de la caractérisation du dimensionnement du pied, l'étude posturographique impose normalement une position précise des pieds. La conséquence en est une standardisation du polygone de sustentation. Cependant, en pathologie, cette position n'est pas souvent utilisable, surtout lors des circonstances qui

nécessitent le port permanent d'un appareillage (et donc dans l'objectif d'améliorer l'efficacité de ce dernier pour l'équilibration de la personne debout). La position adoptée spontanément par le sujet, la position relative en référence sagittale des deux arrière-pieds, l'ouverture des deux axes de pied par rapport à la ligne de progression, l'écartement des pieds, sont autant de critères de caractérisation et de suivi évolutif de la personne. En outre, le facteur temps permet de vérifier la robustesse de cette référence de posture debout, c'est-à-dire la qualité de reproductibilité du positionnement des pieds.

Quel que soit le positionnement adopté, la métrologie permet de s'intéresser à la surface utilisée du pied, définissant des zones d'appuis atypiques ou, à l'inverse, anormalement absentes. Par définition, l'instabilité du sujet se traduit par des variations répétées de la surface d'appui utilisée, voire le déplacement d'un des pieds. Mais c'est leur caractère aléatoire ou, au contraire, de tactique assimilée qui constitue l'information originale utile. Les effets de la chirurgie, de la rééducation, de l'appareillage ou de la prise en charge posturale sus-jacente peuvent ainsi être appréciés dans le temps. L'intérêt de l'étude des pressions et des forces est largement commenté par ailleurs. Cependant, cliniquement, la prise en compte de l'évolution du statokinésigramme par tranche de temps au sein de la minute d'observation est un élément caractéristique de la pertinence de la régulation posturale. Enfin, pour les capteurs embarqués, ou même à s'intéresser aux déplacements intersegmentaires ; pour notre expérience, le suivi de la prono-supination est plus instructif ! C'est l'étude même de l'adaptation au sein du bloc calcanéo-pédiéux, particulièrement importante pour le travail adaptatif du pied lors d'une tâche d'équilibration monopodale. Plus globalement, nous avons utilisé ces procédures pour caractériser station debout et démarche lors de problèmes rachidiens.

Conclusion

Le développement des techniques ne peut que faire évoluer fortement l'offre en métrologie du pied ; cependant, simultanément, évolueront aussi la disponibilité en temps et les capacités financières d'investissement des praticiens. La dimension temporelle permet de « fouiller » le travail demandé au pied, ouvrant ainsi une meilleure compréhension des phénomènes de « surcharge de travail mécanique du pied » et le vieillissement prématuré qui s'y rapporte. Il est difficile de se projeter sur les tests qui enrichiront les pratiques quotidiennes du posturologue, mais il reste une forte marge dans l'exploitation des données actuellement couramment accessibles.

Bibliographie

La stabilométrie

1. Marie P. Les troubles subjectifs consécutifs aux blessures du crâne. *Revue de Neurologie* 1916;4-5:454-76.
2. Aristote. Les Parties des animaux Trad. Paris: Pierre Louis. G. Budé; 1956.

3. Gagey PM, Baron JB, Ushio N. Introduction à la posturologie clinique. *Agressologie* 1980;21(E):119–24.
4. Gagey B, Bourdeaux O, Gagey PM. From the center of pressure to the center of gravity, a new algorithm for a step forward in stabilometry. *MTP Rehab Journal* 2015;13:264–70. doi: 10.17784/mtprehab journal.2015.13.264.
5. Winter DA. A.B.C. of Balance during Standing and Walking. Waterloo: Waterloo Bio-mechanics; 1995.
6. Gage W, Winter D, Frank J, Adkin A. Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. *Gait and Posture* 2004;19:124–32.
7. Normes 85. (1985). Éditées par l'Association pour le développement et l'application de la posturologie.(ADAP).
8. Gagey B, Ouaknine M, Bourdeaux O, Vuillermé N, Gagey P.M. (2012) Pourquoi utiliser le centre de masse en stabilométrie clinique ? <http://ada-posturologie.fr/PourquoiUtiliser.pdf>
9. Gurfinkel VS, Lipshits MI, Popov KY. Is the stretch reflex the main mechanism in the system of regulation of the vertical posture of man ? *Biophysics* 1974;19(4):761.
10. Winter DA, Patla AE, Prince F, Ishac M, Gielo-Periczak K. Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol* 1998;80:1211–21.
11. Loram ID, Lakie M. Direct measurement of human ankle stiffness during quiet standing : the intrinsic mechanical stiffness is insufficient for stability. *J Physiol* 2002;545:1041–53.
12. Lakie M, Caplan N, Loram ID. Human balancing of an inverted pendulum with a compliant linkage: neural control by anticipatory intermittent bias. *J. Physiol. (London)* 2003;551:357.
13. Loram ID, Maganaris CN, Lakie M. Paradoxical Muscle Movement during Postural Control. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2009;41(1):198–204. Birmingham.
14. Takagi A, Fujimura E, Suehiro S. A new method of statokinesigram area measurement. Application of a statistically calculated ellipse. In: Igarashi M, Black FO, editors. *Vestibular and visual control of posture and locomotor equilibrium*. Basel: Karger; 1985. p. 74–9.
15. Baratto L, Morasso PG, Re C, Spada G. A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density vs. other parameterization techniques. *Motor control* 2002;6(3):246–70.
16. Boutines C, Gagey B, Gagey PM. (2011). A “time constant” of the upright postural control system? ISPGR Congress, Akita 2011, non publié.
17. Dudde R, Müller R, Bourdeaux O, Gagey B, Weber B, Gagey PM. (2014) Dialogue médecins/entraîneurs autour d'une plate-forme de forces, Science & Sports.
18. Ferrey G. *Abord psychosomatique des traumatisés du crâne*. Paris: Masson; 1995.
19. Gurfinkel VS. On two types of static disturbances in patients with local lesions of the brain. *Agressologie* 1973;14(D):65–72.
20. Gagey PM, Toupet M. Le rythme ventilatoire apparaît sur les stabilogrammes en cas de pathologie du système vestibulaire ou proprioceptif. In: Lacour M, Gagey PM, Weber B, editors. *Posture et environnement*. Montpellier: Sauramps; 1997. p. 11–28.
21. Guillemot A, Duplan B. Étude de la prévalence des troubles posturaux au sein d'une cohorte de 106 patients lombalgiques. In: Gagey PM, Weber B, editors. *Entrées du système postural fin*. Paris: Masson; 1995. p. 71–7.
22. Tardy D. La synergie respistatique ou « SRS ». In: Lacour M, Gagey PM, Weber B, editors. *Posture et environnement*. Montpellier: Sauramps; 1997. p. 29–54.
23. Gagey PM, Toupet M. L'amplitude des oscillations posturales dans la bande de fréquence 0,2 Hertz : Étude chez le sujet normal. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre*. Montpellier: Sauramps; 1998. p. 155–66.
24. Lacour M, Bernard-Demanzeb L, Dumitrescu M. Posture control, aging and attention resources: Models and posture-analysis methods. *Clinical Neurophysiology* 2008; 38:411–21.

25. Kohen-Raz R. (1986). Learning disabilities and Postural control. Freund Publ. House, suite 500, Chesham House, 150 Regent Street, London W1R 5FA.
26. Gagey PM, Toupet M. Orthostatic postural control in vestibular neuritis. A stabilometric analysis. *Ann. Otol. (St Louis)* 1991;100(12):971-5.
27. Gagey PM, Weber B. Study of intra-subject random variations of stabilometric Parameters. *Med Biol Eng Comput* 2010;48:833-5.
28. Ouaknine M. (2007). Les sabots et cyber-sabots: la conception du statodynamique, In *Entretiens de Bichat, Paris, 15/10/2007*.
29. Rossato M, Bourgeois P, Ouaknine M. Stabilometry standard guidelines 2011-2013 during clinical practice. Roma. (Italien): Marrapese; 2013.

Le test de Hess-Weiss, coordimétrie de version à visée posturale

30. Weiss JB. *Déséquilibre oculomoteurs et Coordimètre*. Doin; 1983.
31. Ardouin M, Urvoy M, Salmon D, Elliot F, Kerbrat C. Enregistrement coordimétrique de la manœuvre d'inclination de la tête de Bielchowski. *Journal Français d'Orthoptie* 1981;13:189-94.
32. Brouet M. *Étude critique de la coordimétrie de type Hess-Lancaster-Weiss au cours des paralysies oculomotrices. Présentation d'un nouvel écran*. Tours: Thèse de médecine; 1984.
33. Marucchi C. Coordimétrie de version, complément du bilan postural. *Agressologie* 1987;28:949-52.
34. Calage V, Weber B, Marucchi C. Variabilité de la coordimétrie de version chez l'adulte sain. *Revue ONO* 1994;28:19-20.
35. Zamfirescu F, Dujols A. Variation immédiate de la coordimétrie de version provoquée par la pose d'un prisme actif. *Revue ONO* 1994;28:21-2.
36. Levy M, Coupin I, Weber B, Gagey PM. —La modification de l'occlusion contrôlée par un test de Hess Weiss Postural entraîne-t-elle une modification de la verticale visuelle subjective ? *Posture & Locomotion* 2001;2:77-86. 16^e journées de Posturologie clinique.
37. Boschero. Mémoire du DIU de Posturologie clinique.
38. Coupin I. Le rôle de l'orthoptiste au sein d'un réseau spécialisé en posturologie, présentation de cas cliniques. *JFO* 2006;57-71.
39. Coupin I. Bilan orthoptique à visée posturale. *JFO* 2010;105-14. 13-1.
40. Alves da Silva O. Scotométrie directionnelle et correction prismatique dans le syndrome de déficience posturale. *Agressologie* 1987;28:945-6.
41. Gagey PM, Weber B. *Posturologie, régulation et dérèglements de la station debout*. Masson; 2004.

CHAPITRE 13

Système d'aplomb, système dynamique non linéaire

Pierre Marie Gagey

Les caprices des rois mènent à tout, y compris à la découverte du chaos ! À l'occasion de son anniversaire en 1889, Oscar II de Suède eut envie d'accorder un prix au mathématicien qui trouverait la solution du problème des trois corps¹ ! Ce concours fut pour Henri Poincaré l'occasion de rencontrer les tracas du chaos qui devaient le conduire à exprimer, quelques années plus tard, la propriété essentielle des systèmes dynamiques non linéaires : « Il peut arriver que des petites différences dans les conditions initiales en engendrent de très grandes dans les phénomènes finaux. » Ses écrits furent publiés à Paris en 1908 [1], par une maison d'édition qui n'était pas inconnue et pourtant..., il a fallu attendre 1972 et le congrès de la Société américaine pour le progrès de la science, pour que la communauté scientifique internationale dans son ensemble commence à prêter attention aux systèmes dynamiques non linéaires ! Il est vrai que, cette année-là, pour son intervention à Washington, le météorologue E.N. Lorenz [2] avait frappé une sentence propre à éveiller l'attention de ses auditeurs : « Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil set off a Tornado in Texas ? » Une belle formule porte, tout le monde aujourd'hui connaît l'« effet papillon »...

Pauvre Jean-Bernard Baron ! En 1955, alors que personne ou presque ne connaissait ce phénomène, qu'il a réalisé une première mondiale : la première expérience de physiologie chaotique... Absolument personne ne l'a comprise, ni en France, ni aux États-Unis, où elle est d'ailleurs toujours inconnue (elle n'est même pas citée sur Medline).

J-B Baron, interne en ophtalmologie, avait consacré sa thèse de médecine aux vertiges des hétérophoriques, un sujet qui avait piqué sa curiosité car il était manifestement incompris. Ainsi, il décida de faire une thèse de sciences [3]

1. Quelles trajectoires suivent trois corps célestes qui interagissent selon les lois de la gravitation universelle de Newton ?

qui approchait le phénomène d'une manière très simple : que se passe-t-il chez l'animal d'expérience si on provoque chez lui un petit déséquilibre oculomoteur ? La technique expérimentale qu'il a utilisée n'avait rien de sophistiqué : une petite incision d'un muscle oculomoteur quelconque, si possible limitée à quelques fibres musculaires seulement, pour que le déséquilibre oculomoteur soit minime, comme dans le cas des hétérophories. Le résultat fut si étonnant que Baron reprit ses expériences sur différentes espèces animales et dans des conditions les plus variées pour essayer, autant que possible, d'éliminer les biais imprévisibles. Mais le fait était là, toujours le même : si l'opération avait induit un déséquilibre oculomoteur mineur, inférieur à 4° , l'animal présentait alors une hypertonie unilatérale majeure des muscles paravertébraux qui incurvait complètement son corps et le rendait inapte à avancer droit devant lui, le faisant tourner en rond ; par contre, si le coup de bistouri avait été maladroit au point de provoquer un déséquilibre oculomoteur plus important, supérieur à 4° , alors il ne se passait rien.

J.-B. Baron n'a pas fait le lien entre la ronde de ses petits poissons et la mécanique céleste, ni le problème des trois corps..., de même que les physiologistes de son entourage : la logique de cette expérience a échappé à tout le monde. C'est pourquoi, selon l'évidence du moment – « un fait dont le déterminisme n'est point rationnel doit être repoussé de la Science » [4] –, la thèse de Baron ne correspondant pas à la rationalité de l'époque fut jetée aux oubliettes... Jusqu'à ce qu'il fut compris et prouvé que le système postural d'aplomb se comporte comme un système dynamique non linéaire [5-12].

Aujourd'hui, il est clair que le « Merry go round » des petits poissons de Baron constitue la base scientifique de la posturologie clinique car il nous montre qu'il y a une régulation de l'activité tonique posturale, distincte de l'activité cinétique et sur laquelle s'implante cette dernière. Cette régulation fonctionne comme un système dynamique non linéaire. Toute manipulation d'une entrée de ce système est susceptible de modifier immédiatement la répartition du tonus musculaire.

Plus personne ne peut critiquer les posturologues au prétexte que l'homme est fait pour marcher, courir, sauter et qu'il est par conséquent inutile de s'occuper de l'homme debout immobile...

Plus personne ne peut critiquer les posturologues au motif que les conséquences de leurs traitements ne sont pas proportionnelles aux moyens qu'ils utilisent ; le « phénomène papillon » est bien ancré dans les esprits.

L'espace des phases

Le système postural d'aplomb peut être regardé comme une série temporelle d'événements enchaînés par un impératif : le centre de gravité doit rester proche de sa position d'équilibre. D'un point de vue mécanique, ces événements successifs sont caractérisés par la position, la vitesse et l'accélération du centre de gravité du sujet à chaque instant de la série. Aujourd'hui, nous savons observer cette série temporelle avec une certaine précision, mais comment comprendre le fonctionnement du système postural d'aplomb à travers elle ?

Henri Poincaré nous a laissé un petit « truc » pour formaliser d’une manière simple un système qui change d’état d’un instant à l’autre selon une loi de succession rigoureuse : l’espace des phases.

Ce petit « truc » est exactement copié sur l’espace cartésien ; de la même façon qu’une fonction $y = f(x)$ est représentée par une courbe dans un espace structuré par les deux axes Ox, Oy du référentiel cartésien, une fonction Événement à l’instant $(t + 1) = f$ (Événement à l’instant t) est représentée dans un espace des phases structuré par ses deux axes $O_{[Et]}, O_{[Et+1]}$. Si la loi de succession qui sert à passer de l’événement (t) à l’événement $(t + 1)$ est connue, formalisée par une fonction mathématique, il suffit de la faire figurer dans cet espace, par la courbe qui la représente, pour pouvoir représenter la série indéfinie des événements enchaînés : en effet, par définition, l’abscisse d’un point A de la courbe représente l’événement à l’instant t et l’ordonnée du même point A représente l’événement à l’instant $t + 1$. On se sert ensuite de la bissectrice entre les axes $O_{[Et]}, O_{[Et+1]}$ pour reporter l’ordonnée $t + 1$ en abscisse, etc. (figure 13.1).

Cette fonction est représentée sur la figure par une parabole. On constate que, pour un changement mineur des conditions initiales (E_0) entre les figures de droite et de gauche, la différence des résultats est considérable. La série temporelle se stabilise en A (à gauche), elle tourne autour de A comme autour d’un attracteur (à droite).

Dans le cas du système postural d’aplomb, on ne connaît pas la loi de succession ; par contre, on connaît les valeurs successives de la série temporelle des événements. Il est donc possible de reporter dans l’espace des phases ces positions successives puisque l’on connaît leurs coordonnées. Il est même possible d’augmenter progressivement la dimension de cet espace des phases, jusqu’à travailler sur des hyperspaces à 7, 8 ou davantage de dimensions. Lorsque l’on ne gagne rien à passer à un espace supérieur, on définit alors la dimension du système, ce qui donne une idée de ses degrés de liberté [13].

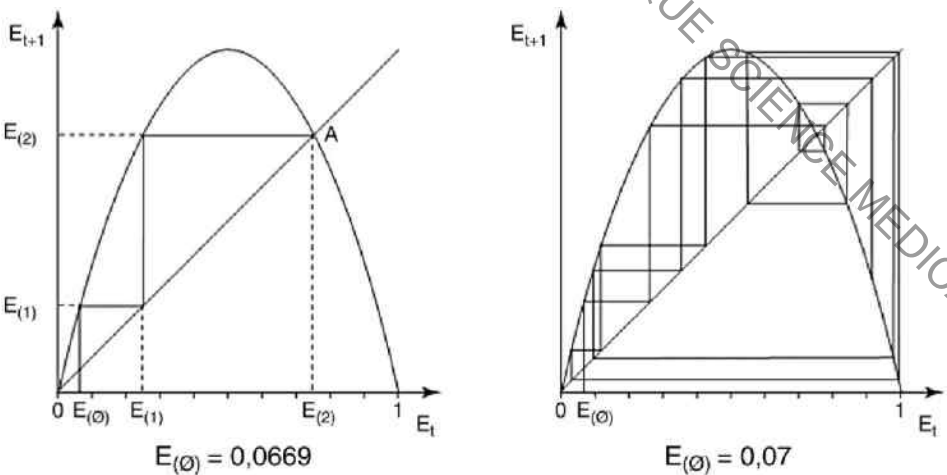


FIGURE 13.1. Espace des phases à partir d’une loi de succession connue.

La fonction qui, ici, fait passer d’un événement E_t à l’événement suivant E_{t+1} est :

$$E_{t+1} = 4E_t(1-E_t)$$

Le « pouvoir de prédiction »

Si l'on connaît une fonction mathématique linéaire, par exemple une fonction sinusoïdale, qui définit la position d'un point dans l'espace et le temps, on peut prédire avec certitude où sera ce point mille ans à l'avance. Avec les systèmes dynamiques non linéaires, la chose est impossible : leur évolution est imprévisible à long terme et « plus ou moins » imprévisible selon l'état du système étudié. Il est donc intéressant d'étudier le pouvoir de prédiction du système postural d'un individu dans diverses situations pour vérifier que ces situations changent ou non l'état du système postural de ce sujet [14].

Les modifications de ce pouvoir de prédiction semblent même représenter un critère extrêmement sensible pour mettre en évidence une modification de l'état du système postural. Nous avons étudié dans des cohortes de sujets normaux, l'adaptation de leur système postural à des verres correcteurs progressifs qui intègrent un prisme optique dans leur fabrication. Après un mois de port de ces verres, tous les paramètres stabilométriques de ces sujets étaient redevenus statistiquement normaux, sauf leur pouvoir de prédiction, en situation yeux ouverts évidemment [15, 16].

L'indice de similitude

Il est également possible d'étudier, entre différentes fenêtres d'analyse, les variations de critères de similitude de la dynamique d'un système non linéaire [17]. Cet « indice de similitude » a été utilisé pour étudier le rôle de l'entrée visuelle du système postural d'aplomb [10, 11] et pour prédire les crises vertigineuses de la maladie de Ménière [12].

L'analyse dynamique non linéaire en pratique clinique

En fait, les cliniciens ne se précipitent pas sur ce type d'analyse dans leur pratique quotidienne de la stabilométrie. Cela peut être imputé à l'absence de logiciel adapté sur les machines du commerce, mais plus fondamentalement ce type d'analyse n'intéresse pas le clinicien, pour le moment, car il est tout juste capable de dire : « ça marche » ou : « ça ne marche pas bien ». Pour entrer avec davantage de profits dans la complexité du système, nous manquons encore de travaux fondamentaux sur ces modes d'analyse du signal stabilométrique.

Conclusion

La thèse de sciences de Jean-Bernard Baron est un événement historique majeur du développement de la médecine au cours du xx^e siècle, même si son importance commence seulement à être reconnue. Et bien sûr, avant cette thèse, la découverte par Henri Poincaré [18] de la logique des systèmes dynamiques non linéaires en reste l'intelligence fondatrice.

Bibliographie

1. Poincaré H. *Science et méthode*. Flammarion: Paris; 1908.
2. Lorenz EN. (1972) Meeting of the American Association for the Advancement of Science, Washington D.C. December 1972.
3. Baron JB. Muscles moteurs oculaires, attitude et comportement locomoteur des vertébrés. Paris: Thèse de Sciences; 1955. 158 pages.
4. Bernard Cl. *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: Delagrave; 1865.
5. Martinerie J, Gagey PM. Chaotic analysis of the stabilometric signal. In: Woollacott M, Horak F, editors. *Posture and gait: control mechanisms*. Tome I: University of Oregon Books (Portland); 1992. p. 404–7.
6. Myklebust JB, Prieto T, Myklebust B. Evaluation of nonlinear dynamics in postural steadiness time series. *An. Biomed. Engn.* 1995;23:711–9.
7. Thomasson N. Traitement du signal stabilométrique par les techniques d'analyses non linéaires. Salpêtrière, Paris: Rapport LENA; 1995.
8. Cao LY, Kim BG, Kurths JM, Kim S. Detecting determinism in human posture control data. *Int. J. Bifurcation Chaos* 1998;8(1):179–88.
9. Gagey PM, Martinerie J, Pezard L, Benaim Ch. L'équilibre statique est contrôlé par un système dynamique non-linéaire. *Ann. Oto-Laryngol.* 1998;115:161–8.
10. Sasaki O, Gagey PM, Ouaknine AM, Martinerie J, Van Quyen M, Toupet M, L'Heritier A. Nonlinear analysis of orthostatic posture in patients with vertigo or balance disorders. *Neuroscience Research* 2001;412001:185–92.
11. Sasaki O, Gagey PM, Usami S-I, Sakura S. Vertiginous Attacks in Ménières's Disease can be anticipated by Nonlinear Analysis of Posturography. *Equilibrium Research* 2006;65(1):35–47.
12. Sasaki O, Usami S-I, Gagey PM, Martinerie J, Le Van Quyen M, Arranz P. Role of visual input in nonlinear postural control system. *Ex. Brain Res.* 2002;147:1–7.
13. Martinerie J, Gagey PM. Analyse chaotique du signal statokinésimétrique. *Ann. Kinésithér.* 1993;20(1):3–10.
14. Sugihara G, May RM. Nonlinear forecasting as a way of distinguishing chaos from measurement error in time series. *Nature* 1990;344:734–41.
15. Marucchi C, Habif M, Gagey PM, Weber B, Zamfiresco F, Benaim. Corrective lenses and the fine postural system. I. Stabilometric variations induced by varying the diopters of corrective lenses. In: Taguchi K, Igarashi M, Mori S, editors. *Vestibular and neural front*. Amsterdam: Elsevier; 1994. p. 357–60. 1994.
16. Weber B, Benaim C, Gagey PM, Habif M, Marucchi C, Zamfiresco F. Corrective lenses and the fine postural system. II. Influence of the optical configuration of corrective lenses on the functioning of this system. In: Taguchi K, Igarashi M, Mori S, editors. *Vestibular and neural front*. Amsterdam: Elsevier; 1994. p. 361–4.
17. Le Van Quyen M, Martinerie J, Baulac M, Varela F. Anticipating epileptic seizure in real time by nonlinear analysis of similarity between EEG recording. *Neuroreport* 1999;10:2149–55.
18. Ginoux J-M, Gerini Ch. *Henri Poincaré : une biographie au (x) quotidien(s)*. Paris: Ellipses; 2012.

CHAPITRE 14

Non-proportionnalité facteur/ effet

14.1. La manipulation des entrées

Pierre Marie Gagey, Alain Scheibel

La « manipulation » d'une entrée consiste à faire varier l'une ou l'autre des entrées du système postural par un stimulus afin de savoir si le SPA y est sensible. La modification peut être constatée – qualifiée ou quantifiée – par les tests posturaux.

L'expérience a montré que fermer les yeux, chausser ou ôter ses verres correcteurs ne devait pas modifier la réponse tonique observée par un test postural. Il en est de même lorsqu'une plaque de mousse est interposée entre la sole plantaire et le sol ou lorsque les dents sont mises au contact. Dans le cas où une variation est constatée, il est possible que l'entrée visuelle, les verres correcteurs, l'entrée podale ou une interférence mandibulaire soit en rapport avec une asymétrie tonique.

Ainsi, ces « manipulations » sont utilisées comme outil diagnostique, lorsqu'une modification anormale se produit sur plusieurs tests. La correction demande alors l'intervention d'un thérapeute spécialisé dans l'une ou l'autre entrée.

Lorsqu'aucune piste n'est pointée par ces manipulations, il a été constaté qu'un traitement manuel peut, après quelques semaines, permettre à un nouveau bilan postural de mettre à jour une entrée ou une interférence mandibulaire à traiter.

14.2. Un exemple concret : la rééducation de la sensibilité cutanée plantaire

Serge Belhassen

Les troubles de la marche chez le sujet âgé tiennent en partie à la perte de sensibilité de la semelle plantaire. Un premier travail [1] avait retrouvé des corrélations entre l'évaluation de la sensibilité plantaire et celui de l'équilibration, indépendantes de l'âge, du poids, de la taille et de la pointure du sujet. Les quotients plantaires définis à partir de rapports stabilométriques sur sol dur et sur mousse [2] ont mis en évidence une différence significative de sensibilité les yeux ouverts [3] : le groupe de sujets âgés dont la sensibilité vibratoire à 256 Hz était la plus mauvaise ($p < 0,001$) était celui qui était insensible à la mousse. Ce résultat suggérait un rapport étroit à la fois entre œil et sensibilité plantaire et entre sensibilité plantaire et mousse. Les données de Kavounoudias [4] et celles de Thompson [5] montrent le rôle majeur de la sensibilité plantaire dans la perception de la verticale de gravité et les nôtres qu'une diminution de la sensibilité calcanéenne s'accompagne d'un recul de la position antéropostérieure moyenne [6] ; la question se posait de savoir si ce déficit handicapant était récupérable, d'apprécier dans quelle mesure la sensibilité plantaire était rééducable. Nous avons alors pu montrer qu'une rééducation plantaire spécifique, dans le cadre d'un programme de rééducation de l'équilibre en centre spécialisé, est cliniquement profitable [7].

Cette étude prospective randomisée a été réalisée en 10 mois au centre Paul Coste-Floret de Lamalou les Bains, en 2000. Les 38 patients inclus (âge moyen : $69,3 \pm 11,9$) présentaient des atteintes organiques diverses (troubles visuels, vestibulaires, extrapyramidaux...). Le tirage au sort a déterminé deux groupes, statistiquement comparables à l'entrée : un groupe bénéficiant d'une rééducation de la sensibilité plantaire *versus* un groupe contrôle. Huit tests ont exploré la sensibilité plantaire : reconnaissance de textures, monofilaments Semmes-Weinstein, pique-touche, vibration 30 et 256 Hz, sensibilité thermique, test de localisation, kinesthésie de la cheville. Des enregistrements stabilométriques, yeux ouverts et fermés, ont exploré la stabilité sur plate-forme de force.

Les patients du groupe rééduqué ont bénéficié de séances quotidiennes cinq fois par semaine sur une moyenne de six semaines. Chaque séance durait une vingtaine de minutes dont 5 minutes de lavage des pieds dans des bacs à eau chaude et froide, 5 minutes de massage de la plante des pieds avec prise de conscience de l'entrée plantaire, 5 minutes de vibrothérapie (2,5 minutes à 30 Hz, 2,5 minutes à 256 Hz) et 5 minutes de prise de conscience de la sensibilité plantaire entre différents tapis (lisse, moquette et brosse).

Il est apparu, à la fin de ces six semaines, des différences significatives de gain de sensibilité plantaire entre le groupe rééduqué et le groupe contrôle,

soit la reconnaissance des textures ($p < 0,003$) et le test de Semmes-Weinstein ($p < 0,002$). Par rapport à sa situation initiale, le centre de pression moyen du groupe traité était plus antérieur ($p < 0,03$) que celui du groupe témoin, et l'énergie spectrale dans l'axe latéral plus basse ($p < 0,04$).

Discussion

Il faut néanmoins garder à l'esprit que focaliser l'attention sur la localisation des capteurs et leur intégration ne présente, pour le moment, que peu d'intérêt en clinique : l'ensemble pied-cheville fonctionne comme un tout dans un ensemble plus global qui doit être rééduqué comme tel. L'équipe de Roll [8] montre bien que les influences proprioceptives et cutanées se complètent, voire se remplacent en cas de défaillance [9]. Le seuil de sensibilité plantaire varie au cours de la journée et en fonction de l'activité de déambulation, suggérant un contrôle central de priorisation d'afférences selon la tâche et sa durée [10]. Cet argument renforce l'idée qu'une rééducation prolongée multisensorielle spécifique et globale devrait favoriser la résurgence de stratégies sensori-motrices le plus souvent oubliées aux dépens d'autres moins efficaces, mais moins risquées (stratégie de hanche et de cheville). L'omission vestibulaire en est un exemple flagrant aux dires des patients qui, en quelques séances, retrouvent une stabilité perdue.

Il existe d'autres moyens de stimulation de la sensibilité cutanée plantaire à visée rééducative : E. Palluel [11] l'a montré avec des semelles à picots, même si certains patients, plus instables avec ces semelles, posent le réel problème de la personnalisation de la rééducation. En particulier, un traitement ostéopathe est-il utile dans ces cas et faut-il prendre en compte l'entrée manducatrice ? Y a-t-il des critères qui permettent de déterminer des priorités dans les traitements des afférences ? La rééducation de la sensibilité plantaire devrait se généraliser comme complément de rééducation dans un cadre plurisensoriel, compte tenu de la plasticité cérébrale induite par la stimulation. L'action du massage plantaire est positive mais fugace [12] ; la semelle à picot la mimerait. D'autres moyens visent à pallier les déficits sensoriels plantaires, par exemple les semelles de biofeedback qui pourraient apporter des solutions concrètes dans la prévention des chutes chez le sujet âgé neuropathique distal notamment [13, 14].

La rééducation de la sensibilité plantaire et, plus généralement, du complexe pied-cheville doit faire partie des programmes de prévention de la chute du sujet âgé, tout autant que le chaussage adapté. La levée de conflits pied-chaussure, la restitution d'appuis non douloureux, l'exercice spécifique et global devraient améliorer significativement la stabilité de nos aînés. Si la gestion à court terme permet le passage de la tactique de pied à la tactique de hanche [15], le travail de rééducation de la sensibilité plantaire permet d'en améliorer la perception et probablement l'utilisation par le système d'aplomb. Ce résultat complète d'une certaine manière la mise en évidence des rapports entre situation locale du pied et son retentissement sur l'aplomb [16].

14.3. La manipulation ostéopathique

Alain Scheibel

Depuis plus d'un siècle, l'ostéopathie tant controversée soigne. C'est sûr ! Elle soigne surtout les troubles fonctionnels. Pour cela, elle utilise des types de techniques variés dont la preuve de leur efficacité commence à être faite, même si ce travail n'est pas fini.

Le *distinguo* entre trouble fonctionnel et organique est en fait plus compliqué qu'il n'y paraît. En effet, il arrive quotidiennement de constater qu'un dysfonctionnement articulaire non résolu évolue, plus ou moins rapidement, vers l'organicité. Il semblerait exister une période, décrite par B. Weber dans ses enseignements, comme une sorte de « *no man's land* temporel », pendant laquelle le corps oscille d'un état à l'autre :

Homéostasie ↔ Dysfonction ↔ «*No man's land*» ↔ Organicité ↔ Pathologie déclarée

Pendant cette phase intermédiaire de *no man's land*, un événement, comme un traitement, un choc ou une chute, peut faire revenir le corps vers la dysfonction, voire vers la « normalité homéostasique », alors que l'absence d'événement ou de traitement approprié le fera glisser vers l'organicité puis la pathologie déclarée.

Comme l'action essentielle de l'ostéopathe est de restituer, localement, régionalement ou globalement une mobilité conforme à la physiologie articulaire de l'individu, quelle que soit la cause du désordre, il est logique de penser que l'ostéopathie a une action sur tout ce qui n'est pas organique. En cas de troubles organiques, elle peut aider les sujets à soulager leurs troubles fonctionnels.

Le praticien dispose d'un large éventail de techniques qui exercent des forces dont la direction, le sens et l'intensité, maîtrisés par lui, permettent de restituer un mouvement ressenti, au préalable, comme anormal.

La pathogénie arthrosique est un exemple du travail ostéopathique : les forces musculaires, qui s'opposent à la gravité et permettent le mouvement, s'exercent habituellement sur la totalité des deux surfaces cartilagineuses d'une articulation. Lors d'une dysfonction, elles ne s'exerceront que sur une zone limitée de ces surfaces, zone qui sera soumise à une pression plus importante, facteur déclenchant reconnu de la pathologie arthrosique et de ses conséquences [17]. On comprend ainsi qu'une mobilité physiologique retrouvée après un traitement ostéopathique permettrait d'éviter, ou du moins diminuerait, le risque de l'installation de la morbidité arthrosique.

S'il est, pour l'instant, difficile de savoir comment, ou pourquoi, ces techniques et traitements ont un impact sur le système postural, les quatre protocoles proposés montrent statistiquement l'impact de techniques ou traitements ostéopathiques sur certains critères posturaux, stabilométriques ou cliniques.

Protocoles cliniques

Protocole 1 : évaluations stabilométriques de deux techniques ostéopathiques

Deux thèses, menées conjointement et présentées à Oxford en 1988, étudient l'impact de deux techniques ostéopathiques [18], évalué par stabilométrie, sur le système postural.

Les 60 sujets volontaires qui ont participé à l'étude n'étaient pas venus consulter, mais ont accepté de subir l'une ou l'autre de ces techniques classiques en ostéopathie, chacune ayant été pratiquée par un expérimentateur différent.

Technique haute vitesse [19]

Après une évaluation de l'amplitude articulaire de C2 sur C3, 30 sujets subissent une technique haute vitesse visant à améliorer la rotation déficiente. Une répétition du test permet alors de contrôler la diminution ou la disparition de la restriction.

Technique faciale crânio-sacrée [20]

30 autres sujets subissent une mise en « flexion » des « boules » crânienne et pelvienne. Une force de 2,5 kg est appliquée verticalement sur la suture cruciforme du palais pendant 2 minutes, puis le praticien place son poing en arrière du sacrum, au niveau de sa pointe. La force exercée est le poids de la masse fessière du sujet pendant 2 minutes.

Les modifications du comportement postural sont appréciées par trois enregistrements statokinésimétriques exécutés dans les conditions standards de l'Association française de posturologie (*Normes 85* [21]) : le premier avant la manœuvre, le second 20 minutes plus tard (10 minutes de repos couché, puis 10 minutes assis), le troisième, pour la technique haute vitesse après 2 jours, et pour la technique fasciale après 7 jours.

Chaque enregistrement statokinésimétrique comporte successivement les séquences yeux ouverts, yeux fermés, tête à droite, tête à gauche. Ont été pris en compte le rapport de symétrie cervicale et le spectre d'amplitude [22, 23].

Le quotient de symétrie cervicale se définit par l'équation suivante :

$$QSC = \frac{\text{Surface mesurée en rotation tête à droite}}{\text{Surface mesurée en rotation tête à gauche}}$$

Le spectre d'amplitude est calculé dans la bande des fréquences où se manifeste le système postural, de 0,04 à 0,6 Hz [24, 25].

Avant comparaison par le t-test de Student, il a été vérifié que les distributions obéissaient à une « loi normale ».

Résultats

La technique haute vitesse provoque une variation significative du QSC qui s'inverse 20 minutes après la manœuvre et s'équilibre (~ 1) 48 heures plus tard. La technique fasciale n'a pas d'influence sur ce paramètre.

La technique haute vitesse provoque aussi, les yeux fermés, une variation significative des spectres d'amplitude des oscillations droite-gauche et non avant-arrière, autour du 0,2 Hz ($p < 0,03$) [25]. À 48 heures, cette variation augmente les yeux ouverts, dans la même bande de fréquences ($p < 0,04$).

La technique fasciale entraîne à la 20^e minute une variation de la moyenne des spectres d'amplitude avant-arrière (et non droite-gauche) dans la bande de fréquence 0,3 Hz (et non 0,2 Hz), les yeux ouverts ($p < 0,02$). Elle persiste à 7 jours, yeux ouverts et fermés, mais dans la bande du 0,2 Hz ($p < 0,03$).

Discussion

Il est assez troublant de constater que, sur les spectres d'amplitude, cet effet immédiat persiste 2 jours plus tard pour la technique haute vitesse, et 7 jours plus tard pour la technique fasciale. Un travail exploratoire tel que celui-ci ne peut prétendre apporter des explications à une telle persistance. Mais il est à souligner que ces délais avaient été retenus en fonction de données établies sur les résultats cliniques de ces deux techniques.

Ces résultats sont corroborés par le travail de L. Charden [26].

Conclusion

Sur les deux critères d'enregistrement statokinésimétrique choisis, rapport de symétrie cervicale et moyenne des différences des spectres d'amplitude, les deux techniques ostéopathiques entraînent des variations statistiquement validées dans le plan où elles étaient supposées agir : droite-gauche pour la technique haute vitesse, avant-arrière pour la technique fasciale [27]. Cette validation est étayée, pour les deux techniques, par l'absence d'effet (ou un moindre effet) de la même manœuvre pour le même critère dans le plan perpendiculaire.

Protocole 2 : évaluations cliniques d'un traitement ostéopathique

Ce travail, détaillé au chapitre 9.3, montre qu'un traitement, effectué selon un protocole courant en ostéopathie et objectivé par le test de la nage, améliore l'équilibre tonique de sujets sans plainte ($p < 0,001$).

Le protocole proposé tendrait à valider le traitement ostéopathique d'un individu, non seulement dans les variations mécaniques qu'il engendre, mais également dans la correction des dysfonctions toniques issues des anomalies du message proprioceptif et/ou de son intégration au niveau des centres supérieurs.

Protocole 3 : effets de l'étirement de l'ATM [28]

Après avoir déterminé, par le test des rotateurs (voir chapitre 8.3), que la sphère mandibulaire interférait sur le tonus, ce protocole tente d'évaluer si un traitement spécifique de l'ATM peut faire varier, si ce n'est améliorer, l'équilibre tonique.

35 sujets sont répartis en 3 groupes. Ceux du premier groupe (G1) ne présentent pas de variation du test des rotateurs, ni à l'occlusion des yeux, ni à l'intercuspitation ; ceux du deuxième (G2) présentent une variation d'au moins 10° à l'intercuspitation, mais pas à l'occlusion des yeux ; enfin, ceux du troisième (G3) présentent une variation inférieure à 10° à l'intercuspitation, mais pas à l'occlusion des yeux. Pour tous les sujets, la mesure de l'asymétrie tonique utilise un test de piétinement.

Tous les sujets subissent un étirement de l'ATM soit du côté de la diduction, mesurée supérieure à 2 mm quand elle existe, soit du côté ressenti par le thérapeute, en restriction de mobilité. Après un repos de 10 minutes couché puis 10 minutes assis, un second test de Fukuda (T2) est effectué.

Résultats

Seuls les sujets du G2 améliorent leur asymétrie tonique. La prévalence du test de Fukuda passe, en moyenne, de $+30^\circ$ à 0° .

Discussion

L'hypothèse retenue semble s'avérer juste : le côté diduction s'accompagne bien d'une ATM en restriction de mobilité. Une diduction supérieure à 2 mm constituerait une dysfonction à laquelle le SPA serait sensible. Un travail complémentaire, sur un plus grand nombre de sujets, avec un test de piétinement 7 jours après, est néanmoins nécessaire pour valider ces assertions.

Protocole 4 : effet d'un traitement ostéopathique sur les globes oculaires [29]

Après avoir déterminé par le test des rotateurs (voir chapitre 8.3) que la sphère, cette fois-ci oculaire, interférait sur le tonus, ce protocole tente d'évaluer si un traitement spécifique des globes oculaires peut faire varier, si ce n'est améliorer, l'équilibre tonique.

Les sujets sont répartis, en 2 groupes : ceux du groupe visuel (GV) présentent une variation supérieure à 10° au test des rotateurs les yeux fermés mais ne présentent pas de variation lorsqu'ils sont en intercuspitation, yeux ouverts ; le G2 (GNVM) concerne 10 sujets (âge 31 ± 11 ans) ne présentant de variation ni à l'occlusion des yeux, ni lorsqu'ils sont en intercuspitation, yeux ouverts.

Tous subissent un test de Fukuda suivi d'un traitement par étirement du muscle oculomoteur dont la tension est ressentie comme la plus forte parmi les

douze, puis d'une technique de fasciae entre œil et orbite de chaque côté. Après un repos de 10 minutes couché puis 10 minutes assis, un second test de Fukuda (T2) est effectué ; un troisième l'est encore après 7 jours (T7).

Résultats

À T2, la moyenne des prévalences de GV a tendance à s'aggraver par rapport à T1. À T7, elle est égale à 0 avec une distribution qui se resserre ($p < 0,04$).

Pour le GNVM, les prévalences, en moyenne, s'inversent à T2 et reviennent près de leur valeur d'origine à T7 ($p < 0,005$ entre T2 et T7).

Discussion

Le SPA est bien sensible au traitement ostéopathique spécifique des globes oculaires. Après être passée par une phase d'aggravation, 20 minutes après le traitement, 7 jours après, l'amélioration est intégrée.

Discussion

Ces quatre travaux visaient à évaluer l'impact de l'ostéopathie sur le corps. Le premier a montré que deux techniques courantes pouvaient avoir un effet objectivé statistiquement par la stabilométrie ; le second, qu'un seul traitement ostéopathique effectué sur des sujets « sains » améliorait leur déséquilibre tonique, même si celui-ci ne présentait pas de signe à l'interrogatoire ; le troisième, qu'un étirement spécifique d'une ATM observée ou ressentie en restriction de mobilité améliorait l'équilibre tonique ; enfin, le quatrième, qu'un traitement proche du paradigme ostéopathique avait le même effet sur l'asymétrie tonique.

Il est à noter que les sujets du protocole 3 n'ont pas subi de « traitement » oculomoteur et que ceux du protocole 4 n'ont pas subi de « traitement » mandibulaire.

Les suites d'une séance d'ostéopathie sont souvent ressenties par le patient comme « douloureuses » pendant un ou deux jours ; l'amélioration ne se faisant qu'après 48 heures. Le quatrième protocole, qui se rapproche le plus d'un traitement en associant étirement et travail sur les fasciae, corrobore que l'inversion tonique mesurée au test de piétinement peut être mal vécue dans les 48 heures qui suivent un traitement. Après ce délai, l'amélioration ressentie est associée à un quotient de symétrie cervicale équilibré ($\neq 1$) dans le premier protocole, à un test de nage qui s'approche de la ligne droite dans le protocole 2 et à une prévalence équilibrée, en moyenne égale à 0, dans le protocole 4.

Conclusion

Les types de techniques qui constituent l'arsenal thérapeutique de l'ostéopathe semblent avoir des effets différents sur les paramètres stabilométriques ou les tests posturaux. Selon le plan d'application, sagittal ou frontal, des forces

utilisées par les techniques, le SPA semble répondre dans le même plan. Un « effet rebond » est constaté quelques minutes après l'application d'une technique ou d'un traitement alors que c'est après 48 h et/ou 7 jours que l'amélioration est mesurée et le plus souvent ressentie par le patient. De plus, les améliorations constatées sont étayées par l'absence d'effet d'une manipulation ou d'un traitement des sphères oculaire ou mandibulaire, auxquels le test de rotateurs n'est pas sensible.

L'ostéopathie semble donc apporter des solutions dans le traitement des endo-entrées proprioceptives, oculaire ou générale, du SPA. Celui-ci pourrait alors équilibrer sa réponse au nouveau message proprioceptif. Afin d'affiner ces résultats, d'autres protocoles, pratiqués sur une durée plus longue, sont nécessaires.

14.4. L'auto-manipulation de l'axe corporel : le plateau

Pierre Marie Gagey

Le succès du plateau de rééducation de la cheville, inventé par Freeman [30], nous a donné l'idée de tester un plateau de rééducation adapté au système postural, c'est-à-dire un plateau sur lequel le sujet peut se stabiliser de lui-même, sans prendre appui ailleurs que sur le fonctionnement de son système postural d'aplomb.

Après quelques années d'essais, la forme s'est fixée sur un plateau permettant un débattement de 6° du plateau, compatible avec un travail en situation yeux fermés (figure 14.1 et figure 14.2).

Un plateau pour éduquer... avant de rééduquer

En fait, avant de servir à la rééducation, ce plateau a d'abord servi – et sert toujours – à aider les patients à prendre conscience de leur système postural d'aplomb. La leçon de « posturologie appliquée » que cet instrument permet de donner est spectaculaire. Le sujet découvre soudain comment il tient debout, ce que jamais personne ne lui a enseigné, ni à l'école ni ailleurs, d'où un effet de surprise qui retient son attention et une évidence vécue que la vue, la sensibilité des pieds, l'oreille interne, l'oculomotricité, la proprioception rachidienne interviennent dans le contrôle postural. En deux ou trois minutes, thérapeutes et patients accordent leur langage pour parler du système postural d'aplomb.

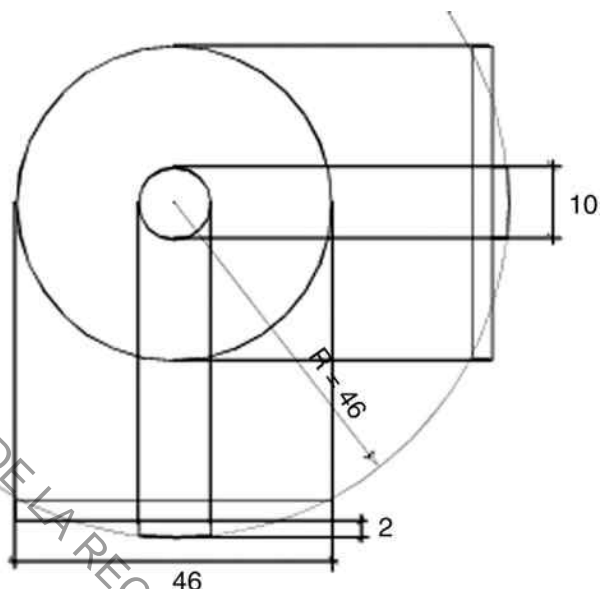


FIGURE 14.1. Plateau de rééducation posturale.

La régularité de la courbure de la calotte sphérique doit être particulièrement soignée et contrôlée.



FIGURE 14.2. Position des pieds sur la plate-forme.

Couper la boucle podale

Nommer les entrées du système postural d'aplomb permet de jouer plus facilement avec elles en les analysant une à une, sans perdre de vue leurs relations réciproques dans l'ensemble du système.

Le patient comprend tout de suite que, lorsqu'il est sur le plateau, ses pieds ne donnent pas la même information que lorsqu'il est sur le sol ferme. Dire qu'alors on « coupe la boucle d'informations venues des pieds » est évidemment excessif, c'est une image du fait que ces informations anormales et retardées n'ont plus le même poids dans l'ensemble..., ce qui a pour corolaire que le poids des autres informations augmente !

Comme aucun fondamentaliste n'a encore expliqué comment s'intègre, au niveau du système nerveux central, l'ensemble des innombrables informations posturales, nous en sommes réduits à utiliser ce langage simpliste pour parler de ce phénomène complexe. Pour le moment, quelques rares expériences semblent confirmer la logique de ce langage puisqu'en « coupant » différentes boucles pendant les exercices sur plateau de rééducation, on peut effectivement redonner du poids à d'autres boucles qui en manquaient. En coupant la boucle podale, on peut redonner du poids à la boucle visuelle [31] ; en coupant la boucle podale et la boucle visuelle, on peut redonner du poids à la boucle otolithique [32]. Mais cette efficacité reste largement à contrôler.

Coupées ou pas, ce qui ressort rapidement de la confrontation au plateau, c'est que les différentes boucles du système postural d'aplomb combinent leurs actions et qu'il est possible de jouer sur ces différentes combinaisons, ce qui ouvre un vaste champ d'expérience dans le cadre d'auto-entraînements. On peut se tenir sur deux pieds ou sur un seul, regarder avec deux yeux ou un seul, faire des mouvements de version dans différentes directions avec un ou deux yeux ouverts, conjuguer l'une ou l'autre diagonale entre un œil et un pied, renverser la tête..., toutes combinaisons qui n'ont encore jamais été explorées rigoureusement et pourraient peut-être nous dire des choses sur l'intégration des afférences sensorielles posturales.

S'auto-entraîner

L'indication majeure de ce plateau reste l'entraînement quotidien du système postural d'aplomb du sujet âgé.

Chaque année, quelques centaines de milliers de personnes âgées meurent des suites d'une chute. Surtout, chaque année, des millions de personnes âgées qui ont chuté deviennent esclaves de la crainte d'une chute : cannes anglaises ou non, déambulateurs avec ou sans roulettes, fauteuil roulant, etc., cet esclavage prend mille visages de plus en plus invalidants qui bloquent les personnes âgées dans leur rue, puis dans leur appartement, enfin dans un fauteuil, quand ce n'est pas dans un lit...

Conseiller à la personne âgée de travailler pour garder son système postural d'aplomb performant le plus longtemps possible ne semble donc pas si aberrant ! L'auto-entraînement quotidien sur plateau postural est un des moyens actuellement disponibles. Pour aider la personne âgée à le réaliser, nous avons écrit un mode d'emploi du plateau qui essaie de donner un caractère ludique à ces exercices (voir ci-après quelques extraits de ce texte : *Mort aux chutes*). Mais il y a beaucoup d'autres moyens à inventer, à mettre en œuvre, par exemple à travers des petits jeux télévisuels interactifs...

Lombalgies mineures

Une petite lombalgie n'est pas « grand-chose » et trois minutes pour s'en débarrasser, cela ne vaut même plus la peine d'en parler ! Il nous suffit donc simplement de mentionner que quelques instants sur le plateau permettent de faire disparaître des lombalgies mineures. Pourquoi ?

Nous savons que la lombalgie est liée à une restriction douloureuse de mobilité, donc le muscle est concerné. Nous savons que toute manipulation des entrées du système postural d'aplomb peut modifier l'activité musculaire tonique posturale. Nous savons qu'un travail sur plateau manipule des entrées du système. Il y a donc une certaine cohérence dans tout cet ensemble qui garantit par avance l'intérêt d'une recherche plus poussée sur ce sujet. Une recherche qui devrait sans doute tenir compte du principe de tenségrité qui structure la répartition des pressions/tensions du rachis.

L'auto-manipulation

Grâce au travail sur plateau, l'auto-manipulation demande des explications, des conseils, bref une sorte de mode d'emploi qui a été publié sous le titre de *Mort aux chutes* [33]. Nous en présentons ici quelques extraits.

Le jouet

Tant que vous n'aurez pas joué, comme un gamin, avec tous les mécanismes qui vous font tenir debout, vous n'aurez rien compris.

Il vous faut jouer, il vous faut un jouet, qui sera VOTRE jouet, que vous aurez sous la main pour jouer avec lui chaque fois que vous en aurez envie. Ce n'est pas un jouet à partager avec d'autres dans un club ou ailleurs, il faut absolument que vous l'ayez à côté de vous, qu'il soit à votre service

continuellement, que vous n'ayez pas besoin de marcher, même cinq minutes, pour aller le trouver.

Ce jouet n'est pas dangereux, mais quand même faites attention que le sol ne soit pas trop glissant, ayez à portée de main une poignée de porte ou de fenêtre pour vous rattraper au cas où vous sentiriez que vous perdez un peu l'équilibre.

[...]

Premier jeu

Vous l'avez, votre plateau, alors posez-le sur un sol dur, la calotte sphérique côté sol, montez dessus et jouez quelques minutes avec lui, sans but, sans idées, sans contraintes, simplement pour sentir ce qui se passe.

Il n'y a pas besoin de vous expliquer que ce jouet pose des problèmes au système qui vous tient debout !

Maintenant, vous pouvez vous adonner au jeu de la position primaire.

Jeu de la position primaire

Placez le plateau devant une fenêtre.

Placez vos pieds, nus ou chaussés, sur le plateau comme sur la photo (figure 14.2) – à peu près... –, tenez le corps droit, la tête droite, les bras le long du corps. Regardez droit devant vous, par la fenêtre, pour que vous voyiez des choses proches (la fenêtre, ses rideaux de voilage éventuellement) et des choses loin. Et, tout en gardant cette posture, comptez combien de secondes il vous faut pour que le plateau se stabilise, horizontale, presque immobile pendant au moins une seconde.

Essayez, plusieurs fois de suite... Jusqu'à ce que vous sentiez que moins vous intervenez volontairement, mieux ça marche. Le but du jeu de la position primaire n'est pas évident : il faut que vous arriviez au contrôle automatique de votre aplomb quand vous êtes sur le plateau ; il se stabilise tout seul, sans que vous y pensiez... ou presque !

Quand vous arrivez au contrôle automatique de la position primaire, le plateau continue à présenter quelques mouvements, bien sûr, mais ils sont peu amples, ils ne sont pas brusques, tout est « huilé », harmonieux, calme, serein...

Le but du jeu de la position primaire, c'est d'arriver à sentir ça ; c'est le signe que vous êtes en contrôle automatique de la position primaire.

Jouez plusieurs jours à ce petit jeu avant de continuer. Même si vous êtes curieux de connaître la suite, fermez le livre. Ne le reprenez pas avant d'être bien entraîné à sentir le contrôle automatique. Il ne sert à rien d'aller trop vite car vous ne sentirez pas bien les jeux suivants. Un peu de « patience vaut mieux que force ni que rage » !

14.5. Le contrôle postural et oculomoteur en orthostatisme et l'effet de stimulations plantaires fines

Arnaud Foisy, Zoï Kapoula

Le pied et l'œil jouent un rôle majeur dans le système multisensoriel qui assure le contrôle postural [34]. Le rôle des afférences plantaires a été mis en évidence par de nombreuses études, notamment grâce à l'utilisation de reliefs fins (< 4 mm) [35]. Cependant, hormis un abstract de Janin et Toussaint [36], aucune n'a évalué l'effet de telles stimulations sur la qualité du contrôle postural. Ce résumé de congrès suggère que des reliefs rétrocapitaux de 3 mm permettent d'améliorer la stabilisation, mais cette étude avait été réalisée en fixation visuelle.

Plusieurs auteurs estiment aussi que la sensibilité plantaire pourrait avoir une influence sur le contrôle oculomoteur. Roll et Roll [34] rapportent une impression de déplacement d'une cible visuelle lorsque les muscles extra-oculaires, mais aussi cervicaux et extrinsèques plantaires de sujets immobiles sont soumis à des vibrations. Erkelens et al. [37] ont montré une amélioration de la précision de la vergence lorsque la cible visuelle est rapprochée ou éloignée manuellement par le sujet lui-même, suggérant que la proprioception des muscles paravertébraux et du membre supérieur joue un rôle dans cette performance. La proprioception musculaire influe donc sur le contrôle oculomoteur, mais aucune étude ne s'est intéressée à l'extéroception plantaire. Son influence est toutefois suggérée par des observations cliniques répétées et soutenues par des études sur les phories [38].

Nous nous sommes demandés si la manipulation des afférences plantaires pouvait influencer à la fois sur le contrôle postural et oculomoteur dans des conditions plus naturelles : debout, nous devons contrôler aussi bien notre équilibre et les mouvements de nos yeux. Suivant Janin et Toussaint [36], nous avons fait l'hypothèse qu'un élément médio-interne (EMI) ou médio-externe (EME) bilatéral améliorerait le contrôle postural, en particulier l'EME. Notre deuxième hypothèse concernait le contrôle oculomoteur : sachant que, contrairement à la vergence [39], les saccades n'entraînent que peu ou pas de modifications du contrôle postural [40], nous supposons que les stimulations plantaires agiront sur la vergence uniquement.

Ces questions ont un intérêt clinique majeur en raison des nombreux symptômes liés au dérèglement postural. Une meilleure compréhension de l'effet des stimulations plantaires fines couramment utilisées en pratique clinique pourrait permettre d'améliorer la prise en charge des patients souffrant du syndrome de défaut d'aplomb.

Méthode

Après avoir vérifié qu'ils étaient stabilométriquement normaux à 5 Hz (*Normes* 85), 36 sujets ($25,7 \pm 3,6$ ans), dont 15 hommes et 21 femmes, asymptomatiques,



FIGURE 14.3. Conditions expérimentales.

Inserts en résine de polyester (3 mm d'épaisseur, dureté shore 60 A, densité 250 kg/m³) sous le médio-pied : sur la moitié interne (EMI) ou externe (EME) de la bande externe.

emmétropes et sans lunettes, sans traitement médicamenteux et sans syndrome de défaut d'aplomb sont testés sur une plate-forme de forces (TechnoConcept ©) à 40 Hz pendant 51,2 secondes. Les paramètres surface, variance de la vitesse (VV), position moyenne du CdP en Y sont retenus, ainsi que l'analyse non linéaire par ondelettes et l'analyse fractale, qui permettraient une évaluation plus précise des adaptations faisant suite à la modification des entrées sensorielles [41].

Les sujets sont debout, pieds nus, immobiles sur la plate-forme, face à une table de diodes à hauteur de leurs yeux, la base de leur nez étant alignée avec la diode centrale. Les diodes rouges, placées à 20, 40 et 150 cm des yeux des sujets, s'allument dans une séquence aléatoire. Les sujets doivent les fixer successivement ce qui les fait réaliser 10 mouvements de convergence et 10 de divergence oculaire. Ces mouvements sont enregistrés avec un vidéo-oculographe (Chronos, Skalar) dont la précision rend possibles l'évaluation fine des paramètres spatio-temporels des mouvements des yeux et le découpage des mouvements de vergence selon leurs deux phases : phasique, sans feedback visuel, pour les premières 80 millisecondes ; puis tonique, en boucle fermée, c'est-à-dire guidée par des rétroactions visuelles.

Trois conditions de stimulations plantaires, en ordre aléatoire, sont testées : sans stimulation (contrôle), avec un EMI bilatéral ou avec un EME bilatéral (figure 14.3) en résine de 3 mm d'épaisseur, de dureté shore 60 A et de densité 250 kg/m³ [35].

L'analyse statistique a été réalisée sous Statsoft/Statistica (7.1) à l'aide de tests non paramétriques étant donné que certaines distributions ne suivaient pas la loi normale et étaient impossibles à normaliser.

Résultats

En ce qui concerne les paramètres posturaux classiques, les résultats montrent une diminution de la surface avec l'EMI par rapport à contrôle ($p = 0,001$) et avec l'EME par rapport à contrôle ($p = 0,003$). La surface diminue de près de 15 mm² avec l'EME et d'environ 20 mm² avec l'EMI. On observe aussi une diminution de la variance de la vitesse avec l'EMI par rapport à contrôle ($p = 0,018$) et avec l'EME par rapport à contrôle ($p = 0,014$), une diminution du Y-moyen avec l'EMI par rapport à contrôle ($p = 0,0001$), et avec l'EME par rapport à contrôle ($p = 0,010$), et l'EMI par rapport à l'EME ($p = 0,034$) (figure 14.4).

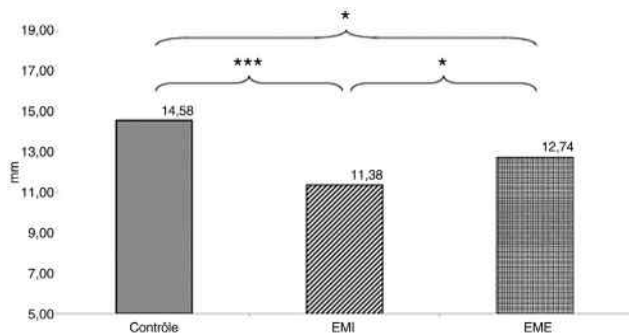


FIGURE 14.4. Position moyenne en Y (mm) du CdP pour chaque condition expérimentale.
Les astérisques indiquent les différences significatives, avec * pour $p < 0,05$, ** pour $p < 0,01$, *** pour $p < 0,001$. Le CdP avance en moyenne de près de 2 mm avec l’EME et de près de 4 mm avec l’EMI.

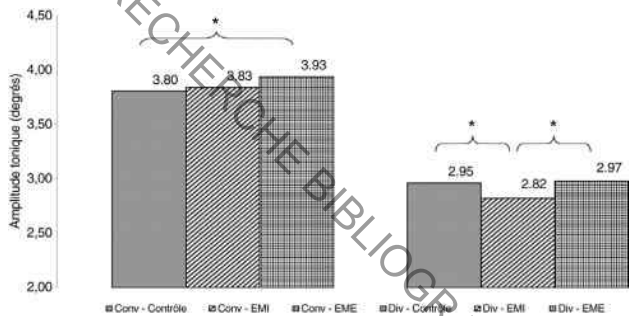


FIGURE 14.5. Amplitude tonique.
Moyenne de l’amplitude tonique de convergence et de divergence pour chaque condition expérimentale. Les astérisques indiquent les différences significatives, avec * pour $p < 0,05$.

Les nouvelles méthodes d’analyse du signal montrent une augmentation du temps d’annulation de la 1^{re} bande de fréquence avec l’EMI par rapport à contrôle ($p = 0,018$), une diminution du temps d’annulation de la 3^e bande de fréquence avec l’EME par rapport à contrôle ($p = 0,012$) et l’EME par rapport à l’EMI ($p = 0,032$), ainsi qu’une diminution du pourcentage de points non corrélés sur l’analyse fractale avec l’EMI par rapport à contrôle ($p = 0,004$) et l’EMI par rapport à l’EME ($p = 0,023$).

En ce qui concerne les vergences, les résultats montrent qu’il n’y a pas d’effet significatif des stimulations plantaires sur l’amplitude totale de convergence, ni de divergence par rapport à la condition contrôle. En revanche, on note une augmentation de l’amplitude phasique de divergence avec l’EMI par rapport à contrôle ($p = 0,004$), une diminution de l’amplitude tonique de divergence (figure 14.5) avec l’EMI par rapport à contrôle ($p = 0,024$) et par rapport à l’EME ($p = 0,050$), une augmentation de l’amplitude tonique de convergence (figure 14.4) avec l’EME par rapport à contrôle ($p = 0,037$).

Enfin, il n'y a aucun effet significatif sur les différents paramètres des saccades avec l'EME ou l'EMI.

Discussion

Effets sur le contrôle postural

La diminution de la surface et la VV montre que les inserts plantaires améliorent le contrôle postural. Le recul du CdP obtenu par les 2 stimulations rejoint les résultats de Janin et Toussaint [36]. L'effet plus important avec l'EMI peut s'expliquer par le fait qu'une stimulation interne provoque une supination du pied [42] qui s'associe à une postériorisation globale. Ces résultats sont pertinents pour les cliniciens car l'antériorisation de la posture est corrélée à de nombreux symptômes.

Ces résultats peuvent être expliqués par l'enrichissement des afférences cutanées en raison de la différence de hauteur de 3 mm créée par les stimulations et détectées par les nombreux mécanorécepteurs. En effet, selon Kavounoudias et al. [43], la répartition des pressions plantaires est un indice très précieux dont se sert le SNC pour réduire l'écart du corps par rapport à la verticale. Il est intéressant de noter que ces résultats sont obtenus malgré le mouvement des yeux qui enrichit la proprioception oculomotrice [39], ce qui ne semble donc pas diminuer l'importance de l'extéroception plantaire.

L'analyse des déplacements du CdP par ondelettes et l'analyse fractale permettent de révéler les différences d'effet de l'EMI et de l'EME : l'augmentation du temps d'annulation avec l'EMI et sa diminution avec l'EME montrent que l'EMI a une action plus bénéfique sur la stabilité. Enfin, l'analyse fractale suggère que l'EMI induit un contrôle postural plus actif que l'EME. Ces résultats peuvent s'expliquer par la supination qu'induirait l'EMI, et par la pronation pour l'EME [42]. La supination résulte d'un appui plus marqué sur les rayons externes du pied (« pied calcanéen »), connus pour être la partie la plus stable mais nécessitant la participation active des muscles inverseurs pour lutter contre la tendance naturelle à l'éversion [44], et inversement pour l'EME.

Effets sur le contrôle oculomoteur

Les stimulations agissent uniquement sur la vergence. L'examen de la répartition des phases montre que l'EMI augmente l'amplitude phasique de divergence et diminue sa partie tonique. Cette stimulation semble donc réduire l'influence de la rétroaction visuelle dans le contrôle de la divergence. L'EME a un effet inverse sur la convergence, résultant en une augmentation de son amplitude tonique. Ces modifications du contrôle de la vergence suite à la manipulation des afférences plantaires peuvent s'expliquer par l'existence de zones communes dans lequel le SNC échange des informations entre les entrées plantaire et visuelle [45]. L'absence d'effet sur les saccades n'est pas surprenante étant donné la rapidité de ce mouvement stéréotypé (500 °/seconde).

Conclusion

Cette étude montre pour la première fois que les afférences plantaires influencent à la fois le contrôle postural et oculomoteur. Bien que de très faibles amplitudes, les modifications sur la vergence sont statistiquement significatives et du même ordre que les résultats obtenus par Popov et al. [46] par vibration des muscles du cou. De plus, les mouvements de vergence sont très fréquents et on sait que les phénomènes répétés de faible ampleur ont un impact majeur sur le contrôle postural [47, 48].

Ces résultats doivent attirer l'attention des cliniciens sur les conséquences de la stimulation de la peau plantaire, même avec des reliefs fins, et les inciter à les choisir avec attention. Les thérapeutes concernés par le mouvement des yeux devraient être conscients de différences possibles dans l'examen de patients assis ou debout, et avec ou sans semelles.

Zoï Kapoula

Ce travail apporte, pour la première fois, des preuves expérimentales de l'influence des afférences podales sur la dynamique de la motricité binoculaire qui règle l'angle des axes optiques en fonction de la distance du sujet par rapport à la cible visuelle. Cet angle est mesuré par vidéo-oculographie à haute résolution temporelle. Il est le premier à apporter des preuves expérimentales du lien des afférences podales et de la qualité de l'alignement des yeux (hétérophories), voire même avec la perception de la verticale visuelle subjective (travaux de thèses en cours de publication). En ce sens, ce travail ouvre des voies nouvelles aussi bien en recherche fondamentale que clinique.

Un autre apport substantiel est le nouveau concept d'« Inefficiency des afférences podales » (IAP) exposé dans une autre étude de notre groupe [49]. Les modèles conceptuels qui gouvernent recherche fondamentale et clinique sont souvent tranchés et limités entre normalité, dysfonctionnement et pathologie. Ce concept d'inefficience enrichit nos modèles conceptuels mettant au cœur du contrôle sensori-moteur, la notion de temps comprise dans la définition du terme inefficiency. C'est dans la prise en compte du temps des analyses, dans le temps du comportement que la science et la clinique verront le plus grand progrès qui nous permettra de rester au plus près des phénomènes physiologiques plutôt que dans une classification limitée.

Cela ouvre des voies de recherche fondamentales et en clinique : comment ces sujets avec inefficiency des afférences podales vont-ils évoluer dans le temps ? Deviendront-ils dysfonctionnels, pathologiques ou resteront-ils inchangés ? Quel est le facteur déclenchant qui conduira la transition et l'évolution de l'inefficience au dysfonctionnel ou à la pathologie ? Une nouvelle science peut alors naître à la hauteur de la complexité de la neuro-physiopathologie humaine.

Nous progressons, éclairés par les intuitions physiologiques inépuisables de Bernard Weber.

14.6. Les neurostimulations manuelles et la posturo-thérapie neurosensorielle

Thierry Mulliez, Philippe Villeneuve

Classiquement, les posturologues, en fonction de leurs professions, vont utiliser des neurostimulations instrumentales (prismes posturaux, semelles de posture, alphas...) dans l'objectif de stimuler récepteurs, voies neurales centripètes et système nerveux central, et ainsi de générer une remédiation posturale. Mais la bonne transmission de l'influx nerveux est rarement investiguée et donc encore moins évaluée. L'expérience montre que le clinicien doit, avant de déterminer son traitement, objectiver les capacités fonctionnelles bien évidemment des capteurs stimulés, mais également des voies neuronales impliquées, grâce aux différents tests cliniques (voir chapitre 8.). Une perturbation neurale entraînant une perturbation de la vitesse de transmission de l'information, mais aussi une perturbation tonique musculaire [50], l'examen clinique posturologique peut mettre en évidence ces perturbations [51]. Des neurostimulations manuelles neurales adaptées restaureront alors un bon cheminement de l'information et son intégration, mais également une régularisation des hypertonies et leurs conséquences douloureuses.

De plus en plus de travaux abordent la pathologie fonctionnelle sous cet aspect neural, considérant qu'avant l'articulation, avant le muscle, on trouve le nerf.

Ici, nous décrirons une approche originale, utilisée à la fois pour le diagnostic : l'examen posturo-dynamique (EPD) et le traitement par neurostimulations manuelles, ou « saturations neurales », l'ensemble étant regroupé sous le terme de « posturo-thérapie neurosensorielle » (PNS).

Quelle peut être sa place parmi les traitements manuels du XXI^e siècle ?

On propose trois arguments :

- le constat du flux informationnel permanent nécessaire à la gestion automatique de la posture sous la forme de micro-courants mesurables, flux dépendant de l'intégrité neurale ;
- la possibilité de moduler, par une stimulation manuelle, la circulation de ces informations à destinée proprio, extéro, intéroceptive, ou motrice ;
- l'intégration de la thérapie manuelle dans la pratique posturologique.

La saturation neurale

Depuis plusieurs siècles, il est connu que la stimulation manuelle directe des rameaux nerveux à leur émergence (pression) peut exacerber la douleur, mais

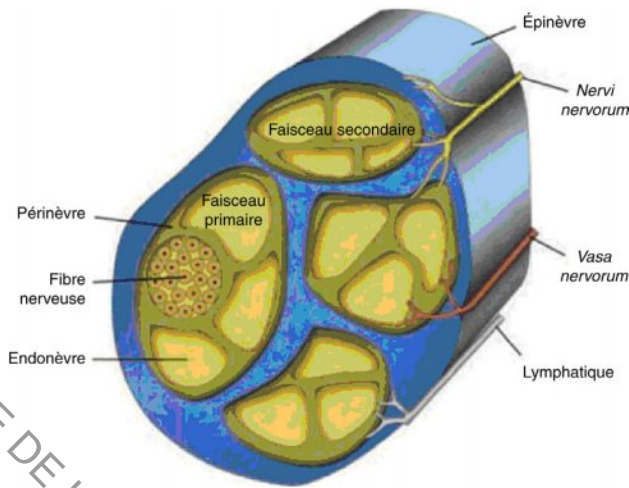


FIGURE 14.6. Localisation schématique d'un nervi nervorum à la périphérie d'un tronc nerveux.

Le nervi nervorum se situe uniquement au niveau de l'épinèvre et de la périnèvre.

Source : Jean-Pierre Barral, Alain Croibier, *Manipulations des nerfs périphériques*, 2004, Elsevier Masson.

aussi la traiter. Les rebouteux puis les neurologues du XIX^e siècle tels Lasègue, Tinel, Valleix [52] ont développé le diagnostic de douleur par étirement neural. Par la suite, des chirurgiens comme Marshall et son élève Horsley [52] ont montré le rôle des nervi nervorum dans l'efficacité du traitement par étirement neural. Ils ont appliqué des stimulations mécaniques directement ou indirectement sur les nerfs, notamment pour traiter des sciatiques ou des névralgies cervico-brachiales.

Aujourd'hui, nous dirions que ces stimulations permettent une modulation des voies de communication afférentes et efférentes et, ainsi, modifient le seuil de déclenchement des réactions responsables des spasmes musculaires et des blocages articulaires.

La découverte par Sappey en 1857 [53] des nerfs du nerf (nervi nervorum) peut expliquer cette modulation.

En effet, les nerfs ne sont pas de simples fils transportant des signaux électriques [54, 56]. Ce sont eux-mêmes des récepteurs polymodaux (fibres C) codant entre autres les informations mécaniques et algiques [57], tandis que leur gaine possède aussi des nocicepteurs, localisés dans l'épinèvre et la périnèvre (figure 14.6).

L'étirement neural qui survient lors de traumatismes aigus ou chroniques, d'origine posturale (défiance posturale), professionnelle (poste ou charge de travail) ou sportive (surmenage, technopathie), modifie les temps de latence et la vitesse de conduction [50] des influx nerveux. L'information proprioceptive issue de la région perturbée et son intégration centrale s'en trouvent altérées, ce qui provoque des réflexes de protection musculaire [52, 55, 58, 59].

La saturation neurale cible ces boucles parasites, véritables cercles vicieux qu'il importe donc de neutraliser avant d'initier un traitement par neurostimulations instrumentales (prismes posturaux, semelles de posture, alphas...).

Le potentiel d'action d'un nerf traduit l'activité des fibres propageant un message. Il a été montré expérimentalement par Mei et al. [60], pour les mécanorécepteurs, que ce potentiel croît avec l'intensité d'une stimulation jusqu'à un plateau, puis qu'il se produit un effondrement de ce potentiel. Ce phénomène que reproduit *in vivo* la stimulation ponctuelle des nocicepteurs neuraux pourrait expliquer l'effet de la saturation neurale constaté cliniquement [61].

Les trois principes des traitements neuraux

Le nerf commande le muscle

La dysfonction d'un nerf se manifeste par une hypertonicité des muscles qu'il innerve. La manœuvre de Lasègue, par exemple, teste le tonus des muscles postérieurs du membre inférieur et de la fesse qui dépendent du plexus sacré [51]. Leur hypertonie se traduit cliniquement, en cas de névralgie sciatique, par une hypomobilité que la palpation peut objectiver en percevant une perte d'extensibilité tissulaire et une limitation des mouvements articulaires. La stimulation neurale, lors de pathologies fonctionnelles, permet de restaurer les mobilités musculaire et articulaire.

Le nerf étiré manifeste sa perturbation

Mettre le nerf ou le plexus nerveux examiné en tension stimule ses nervi nervorum. C'est le cas pour le plexus cervical lors de la flexion de la tête [51], et pour le plexus lombaire lors de la flexion de l'extension (flexion plantaire) de la cheville. Ce moment de l'examen clinique est capital : une mise en tension insuffisante risque de ne pas mettre en évidence la dysfonction neurale et de focaliser inutilement l'attention sur la douleur locale. La stimulation manuelle directe d'un nerf permet alors de moduler les réflexes de défense, dont il est le point de départ [62, 63].

Le nerf est accessible

Les points qu'utilise le traitement sont le plus souvent situés là où le nerf est fortement sollicité, là où il change de direction, là où il est maintenu en place par un foramen, comme à l'émergence du nerf supra-orbitaire, un canal pour le nerf pudendal [59], ou par un rétinaculum, comme celui des muscles extenseurs du pied pour les fibulaires profond et superficiel [52]. À défaut, on contacte le nerf en profondeur à travers les plans musculaires [64].



FIGURE 14.7. **Testing sensoriel prémanipulatif.**

Le pouce de la main droite stimule le nerf grand occipital pendant que les doigts de la main gauche apprécient la cinétique musculaire.

Photographie : Institut de Posturologie.

La pratique de la saturation

À travers l'exemple d'une névralgie du grand occipital ou nerf d'Arnold, branche de la racine C2, nous allons décrire la méthodologie clinique neurale.

Dans un premier temps, le patient est debout, et l'EPD [65, 66] oriente le diagnostic de dysfonction vers la région cervicale : l'inflexion latérale de celle-ci du côté dysfonctionnel ne respecte pas la physiologie car elle enclenche une rotation céphalique (il a été montré que la résultante biomécanique des latéro-flexions additionnées de la charnière cervico-occipitale, du rachis cervical supérieur et inférieur est normalement pure, sans rotation).

Ensuite, on positionne le patient en décubitus, afin d'évaluer la tonicité des différentes loges musculaires sous-occipitales par un examen analytique qui recherche le ou les segments sous-occipitaux ou vertébraux dysfonctionnels.

Puis on localise, grâce à une palpation sensorielle¹, les territoires musculaires hypertoniques, la tête du patient maintenue en flexion : muscles semi-épineux et longissimus de la tête sous la ligne nucale supérieure ou muscle occipito-frontal au-dessus, tout en vérifiant la concordance de ce testing avec l'EPD.

Une stimulation de contrôle par compression digitale du nerf grand occipital homolatéral au niveau de son émergence superficielle, 2 à 5 cm en dehors de la protubérance occipitale externe (zone gâchette de la névralgie d'Arnold), nous confirme le plus souvent la dominance du nerf sur ces muscles qui deviendront alors plus mobiles (figure 14.7).

Il suffira, pour effectuer le geste thérapeutique, d'apporter une neurostimulation manuelle sur l'endroit déterminé juste avant. Le geste, appelé saturation neurale [52], consiste en l'application d'une pression ciblée suivie d'un

1. Palpation du plat de la main, appréciant sur différents niveaux de profondeur la tonicité et la mobilité des tissus.



FIGURE 14.8. Saturation neurale du nerf grand occipital (nerf d'Arnold).
Photographie : Institut de Posturologie.

retrait latéral rapide neutralisant le potentiel d'action neural parasite à destinée motrice et sensitive (figure 14.8). Cette saturation est habituellement complétée par un traitement neuro-musculaire, la sidération [59], qui consiste en une manœuvre de contraction contre-résistance relâchée soudainement par le praticien. Il conviendra ensuite de vérifier son effet local et à distance par une palpation sensorielle et une EPD vues précédemment.

Conclusion

Avant d'envisager un traitement ostéopathique ou posturologique, il paraît pour le moins utile, voire indispensable, afin d'obtenir un résultat pérenne, d'investiguer cliniquement les voies de communication neuronales par l'examen global (EPD), l'examen segmentaire et la palpation sensorielle, puis d'intervenir manuellement au niveau des phénomènes parasites ainsi mis en évidence.

La PNS [51, 52, 59] propose ainsi un protocole d'analyse et de traitement au plus près de l'étiologie des déséquilibres posturaux et de la douleur, que compléteront ensuite et si nécessaire un traitement manipulatif articulaire, une rééducation musculaire, une neurostimulation instrumentale, voire une orthèse.

Bibliographie

Un exemple concret : la rééducation de la sensibilité cutanée plantaire

1. Belhassen S. *Sensibilité cutanée plantaire et équilibration : Étude par champ sensitif plantaire*. Montpellier: Thèse méd; 1996.
2. Dujols A. Quotient plantaire et conflit visuo-podal. *Agressologie* 1991;32(3):192-4.
3. Belhassen S. *Sensibilité plantaire et équilibration : Répartition fonction des quotients plantaires*. Mémoire DU Podologie, Université Montpellier; 1996.
4. Kavounoudias A. *Rôle des afférences proprioceptives et tactiles plantaires*. Université de Provence Aix Marseille; 1999. Thèse sciences.
5. Thompson C. Effects of plantar cutaneo-muscular and tendon vibration on posture and balance during quiet and perturbed stance. *J Hum Mov Sci*. 2011;2:153-71.

6. Belhassen S. *Sensibilité cutanée plantaire et équilibration : Évolution en fonction de l'âge et recherche de corrélations chez les sujets de plus de 55 ans*. Mémoire DEA STAHR, Dijon, 25, 1996.
7. Gastal A, Belhassen S, Hérisson C, Garlenq B. Rééducation de la sensibilité plantaire. Principes, protocole, résultats. In: Hérisson C, Cornu JY, Aboukrat P, Belhassen S, editors. *Pied et posturologie*. Montpellier: Sauramps médical; 2001. p. 193–202.
8. Roll J-P. Quelques faits d'actualité concernant la proprioception : « La peau des muscles ». In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Tonus, posture et attitudes*. Paris: Masson; 2010. p. 1–9.
9. Gay A, Aimonetti J-M, Ribot-Giscard E, Roll J-P. Douleur musculaire expérimentale. Effets antalgiques additifs des informations cutanées et musculaires. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique. Comprendre, évaluer, soulager les douleurs*. Paris: Masson; 2012. p. 31–41.
10. Alfuth M, Rosenbaum D. Are diurnal changes in foot sole sensation dependent on gait activity? *Neurosci Lett* 2011;31(504):247–351. 3.
11. Palluel E. *Contribution des afférences tactiles plantaires au maintien de l'équilibre*. Grenoble: Université Joseph Fourier; 20 oct 2008. Thèse de sciences.
12. Preszner-Domjan A, Nagy E, Szíver E, Feher-Kiss A, Horvath G, Kranicz J. When does mechanical plantar stimulation promote sensory re-weighting: standing on a firm or compliant surface? *J Eur J Appl Physiol*. 2012;112(8):2979–87.
13. Bernard-Demanze L, Vuillerme N, Ferry M, Berger L. Can tactile plantar stimulation improve postural control of persons with superficial plantar sensory deficit? *Aging Clin Exp Res* 2009;21(1):62–8.
14. Vuillerme N, Chenu O, Pinsault N, Fleury A, Demongeot J, Payan Y. Can a plantar pressure-based tongue-placed electro-tactile biofeedback improve postural control under altered vestibular and neck proprioceptive conditions? *Neuroscience* 2008;155(1): 291–6.
15. Villeneuve-Parpay S, Villeneuve P, Weber B, et al. Temps d'appui unipodal et test d'antépulsion passive. Recherche multicentrique d'une relation possible. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique. Dysfonctions motrices et cognitives*. Paris: Masson; 2007. p. 114–20.
16. Villeneuve-Parpay S, Weber B, des Cloiseaux L, Villeneuve P. *Retentissement postural des soins de pédicurie : évaluation clinique par l'épreuve posturodynamique*. Étude multicentrique; 2012.

La manipulation ostéopathique

17. Société française de Rhumatologie, www.rhumatologie.asso.fr/dossierarthrose.
18. Scheibel A, Debusschère M. Les modifications du stabilogramme qu'entraînent deux ajustements ostéopathiques sont cohérentes avec l'orientation sagittale ou frontale qu'ils impliquent. *Agressologie* 1991;32(2):134–6.
19. Hartman LS. *Handbook of osteopathic technics*. 2^e édition Hutchinson; 1985.
20. Magoun H. *Ostéopathie crânienne*, Traduction française, Magoun, 1970, 12-112 Chapitre 8 p. 9, Chapitre 10 2^e partie p. 44-51.
21. Normes 85. (1985). Éditées par l'Association pour le développement et l'application de la posturologie (ADAP).
22. Debusschère M. *Effets d'une technique ostéopathique crânio-sacrée sur le système postural*. Oxford: Thèse d'ostéopathie; 1988. 61 pages.
23. Scheibel A. *Effets d'une technique ostéopathique haute vitesse sur le système postural*. Oxford: Thèse d'ostéopathie; 1988. 52 pages.
24. Gurfinkel KS. Physical Foundation of Stabilography. *Agressologie* 1973;14(C):9–14.
25. Gagey P, Bizzo M, Debrulle G, Lacroix D. The one hertz phenomenon. In: Igarashi M, Black FO, editors. *Vestibular and Visual Control on Posture and Locomotor Equilibrium*. Basel: Karger; 1985. p. 89–92.

26. Charden L. Effet d'un traitement ostéopathique de la région dorsale sur le système postural. Oxford: Thèse d'ostéopathie; 1999. 67 pages.
27. Kapteyn TS. Afterthought about the physics and mechanics of postural sway. *Agressologie* 1973;14(C):27-35.
28. Sylvain I. L'étirement de l'ATM a-t-il une influence sur le test de Fukuda ? Faculté Paris VI: Mémoire de DIU de Posturologie clinique; 2015.
29. Thomé E. *Concordance entre deux évaluations cliniques du tonus postural, le test des rotateurs et le test de piétinement de Fukuda et l'effet d'un traitement ostéopathique sur les globes oculaires*. ITO Toulouse: Mémoire d'ostéopathie; 2015. 63 pages.

L'auto-manipulation de l'axe corporel : le plateau

30. Freeman MAR, Dean MRE, Hanham IWF. The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J. Bone Joint Surg.* 1965;47B(4):678-85.
31. Gagey PM. Le plateau de rééducation posturale. *Ann. Kinésithér.* 1993;20:331-4.
32. Brandt Th, Kraczyg S, Malsbenden I. Postural imbalance with head extension: improvement by training as a model for ataxia therapy. *Annals of the New-York Academy of sciences* 1981;374:636-69.
33. Pierre Marie Gagey, *Mort aux chutes*, ADAP, consultable en ligne : <http://ada-posturologie.fr/MortAuxChutes.pdf>.

Le contrôle postural et oculomoteur en orthostatisme et l'effet de stimulations plantaires fines

34. Roll JP, Roll R. From eye to foot : a proprioceptive chain involved in postural control. In: Amblard B, Berthoz A, Clarac F, editors. *Posture and gait: Development, adaptation and modulation*. Amsterdam: Elsevier; 1988. p. 155-64.
35. Janin M, Dupui P. The effects of unilateral medial arch support stimulation on plantar pressure and center of pressure adjustment in young gymnasts. *Neuroscience Letters* 2009;461:245-8.
36. Janin M, Toussaint L. Change in center of pressure with stimulations via anterior orthotic devices. *Gait and Posture* 2005;21:879.
37. Erkelens CJ, Van der Steen J, Steinman RM, Collawijn H. Ocular vergence under natural conditions. I. Continuous changes of target distance along the median plane. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.* 1989;236(1285):417-40.
38. Garrigues B. Anomalies de la localisation spatiale visuelle chez l'enfant dyslexique. Étude préliminaire. In: Weber B, Villeneuve P, editors. *Posturologie clinique. Dysfonctions motrices et cognitives*. Masson; 2007. p. 70-5.
39. Kapoula Z, Gaertner C, Yang Q, Denise P, Toupet M. Vergence and Standing Balance in Subjects with Idiopathic Bilateral Loss of Vestibular Function. *PLoS One* 2013;18(6):e66652. 8.
40. Rey F, Lê TT, Bertin R, Kapoula Z. Saccades horizontal or vertical at near or at far do not deteriorate postural control. *Auris Nasus Larynx* 2008;35:185-91.
41. Doyle TL, Newton RU, Burnett AF. Reliability of traditional and fractal dimension measures of quiet stance center of pressure in young, healthy people. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(10):2034-40.
42. Aminian G, Safaeepour Z, Farhoodi M, Pezeshk AF, Saeedi H, Majddoleslam B. *The effect of prefabricated and proprioceptive foot orthoses on plantar pressure distribution in patients with flexible flatfoot during walking*. *Prosthet Orthot Int.* 2013;37(3):227-32.
43. Kavounoudias A, Roll R, Roll JP. Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol.* 2001;1(Pt 3):869-78. 532.
44. Tropp H. Commentary: Functional Ankle Instability Revisited. *J Athl Train.* 2002; 37(4):512-5.
45. Hollands MA, Ziarva NV, Bronstein AM. A new paradigm to investigate the roles of head and eye movements in the coordination of whole-body movements. *Exp. Brain Res.* 2004;154(2):261-6.

46. Popov KE, Lekhel H, Faldon M, Bronstein AM, Gresty MA. Visual and oculomotor responses induced by neck vibration in normal subjects and labyrinthine-defective patients. *Exp. Brain Res.* 1999;128:343–52.
47. Baron JB, Raison S, Lepoivre N, Munier R. Vertigo of dental origin. *Rev. Oto-neuro-ophtal.* 1953;25:1–4.
48. Oie KS, Kiemel T, Jeka JJ. Human multisensory fusion of vision and touch : detecting non-linearity with small changes in the sensory environment. *Neurosci Lett.* 2001;315(3):113–6.
49. Foisy A, Kapoula Z. How plantar exteroceptive efficiency modulates postural and oculomotor control: inter-individual variability. *Front. Hum. Neurosci.* 2016;10:228.

Les neurostimulations manuelles et la posturo-thérapie neuro-sensorielle

50. Klemrensink GJ, Stoekart R, Meulstee J, Kaulesar Sukul DM, Vleeming A, Snijdesr CJ. Lowered motor conduction velocity of the peroneal nerve after inversion trauma. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26(7):877–83.
51. Villeneuve P. Dysfonctions neurales, algies posturales et neurostimulations manuelles. Apport du traitement manuel neural dans la douleur chronique. Clinique et traitement, méthodologie illustrée avec le nerf fibulaire profond. *La revue de l'ostéopathie* 2013;4-2:35–42.
52. Villeneuve P. Apport du traitement manuel neural dans la douleur chronique. Du reboutement à l'essor des neurosciences. *La revue de l'ostéopathie* 2012;3-2:27–34.
53. Sappey MC. Recherches sur les nerfs du névrilème ou nervi nervorum. *CR Acad Sci.* 1857;65:761–2.
54. Grewal R, Xu J, Sotereanos DG, Weo SL. Biomechanical properties of peripheral nerves. *Hand Clin.* 1996;12(2):195–204.
55. Driscoll PJ, Glasby MA, Lawson GM. An in vivo study of peripheral nerves in continuity: biomechanical and physiological nerves in continuity: biomechanical and physiological responses to elongation. *J Orthop Res.* 2002;20(2):370–5.
56. Bove GM, Light AR. The nervi nervorum: Missing link for neuropathic. *Pain* 1997;6(3):181–90.
57. Sauer SK, Bove GM, Averbek B, Reeh PW. Rat peripheral nerve components release calcitonin gene-related peptide and prostaglandin E₂ in response to noxious stimuli: evidence that nervi nervorum are nociceptors. *Neuroscience.* 1999;92(1):319–25.
58. Gagey PM, Weber B, Scheibel A, Bonnier L. Le syndrome de déficience posturale : analyse rétrospective d'observations cliniques. In Lacour, M., (ed) *Contrôle postural, pathologies et traitements, innovations et rééducation*. Marseille (France) : Solal, p. 73-9.
59. Buckinx C, Villeneuve P. Apport du traitement manuel neural dans les algies du périnée. *Mains Libres* 2015;5.2:199–207.
60. Mei N, Hartmann F, Roubien R. Functional characteristics of dental ligament mechanoreceptors in cats. *J. Physiol.* 1971;63(6):137.
61. Weber B, Villeneuve P. *Posturologie clinique : Comprendre, évaluer, soulager les douleurs*. Paris: Elsevier Masson; 2012. Association Posturologique Internationale.
62. Mayfield FH. Neural and vascular compression syndromes of the shoulder girdles and arms. *Clin Neurosurg.* 1968;15:384–93.
63. Ranger I, Mehta M, Pennington M. Abdominal wall pain due to nerve entrapment. *Practitioner.* 1971;206(236):791–872.
64. Mulliez T. Diaphragme et jonction thoraco-lombaire. Description d'un protocole thérapeutique. *Revue de Médecine Manuelle Ostéopathique* 2013;41:24–6.
65. Villeneuve P. L'épreuve posturo-dynamique. In: Gagey PM, Weber B, editors. *Entrées du système postural fin*. Paris: Masson; 1995. p. 123–6.
66. Villeneuve P, Desenne P, Nouhet B, Schuwer F, Villeneuve-Parpay S. Le syndrome de déficience posturale est-il objectivable cliniquement ? In: Villeneuve P, editor. *Pied, équilibre et rachis*. Paris: Frison-Roche; 1998. p. 209–21.

CHAPITRE 15

Défaut d'aplomb et situations cliniques

15.1. L'évolution de la posture de 8 à 21 ans, le sport et la cognition

Pascal Bourgeois

Il existe une asymétrie normale de la posture, c'est un fait observable chez tous, notamment l'enfant, pendant la croissance. Poser l'hypothèse que cette asymétrie présente une limite au-delà de laquelle elle est anormale semble être une possibilité pour limiter les conséquences pathologiques probables et introduit la notion de prévention. L'anormalité statistique d'un sujet, quel que soit le facteur étudié, est définie lorsqu'il s'éloigne de près de deux fois l'écart type de la population totale. De nombreux facteurs – l'âge, le sexe, le milieu socio-économique, les conditions environnementales, etc. – obligent à pratiquer des analyses multifactorielles qui permettent de nuancer cet axiome.

« Le tonus s'exprime au mieux dans le mouvement » disait Fukuda (voir chapitre 9.1). Depuis, des tests quasi statiques et dynamiques ont été étudiés, certains au sein d'activités sportives : dissymétrie en brasse, latéropulsion de la jambe en Sprint [1, 2], tests de nage (voir chapitre 9.3) et des 3 roulades avant (voir chapitre 9.2), etc. Ces recherches ont permis d'apprécier le comportement de sujets *a priori* exempts de symptôme et de constituer, si ce n'est des normes, du moins des valeurs de référence d'une probable normalité posturale.

L'observation systématique d'enfants depuis 1983, à travers les résultats quantifiés de trois tests posturaux couramment décrits en posturologie – l'examen stabilométrique et la comparaison statistique à certains items de la sphère cognitive et sportive –, a permis de mettre en relation certaines anormalités posturales avec les performances scolaires. Les résultats présentés ont été obtenus à partir d'études longitudinales de plus de 400 enfants de 8 à 11 ans et de 750 pré et adolescents de 11 à 15 ans, ainsi qu'à partir d'études transversales réalisées sur plus de 1350 sujets âgés de 11 à 22 ans ; tous étaient scolarisés.

En même temps que l'enfant se développe, ses processus de maturation de stabilité et d'équilibre évoluent de concert avec des périodes de faibles et de grandes variations. Parallèlement, une évolution cognitive, caractérisée par certains résultats scolaires, est constatée, en rapport avec le sexe, l'âge et la symétrie posturale.

Évolution, de 8 à 21 ans, d'une typologie déterminée par trois tests cliniques

L'objet de ce travail a été d'étudier l'évolution des asymétries de la posture, quantifiée par 3 tests posturaux, comme le témoin d'une adaptation ou d'une perturbation du système postural d'aplomb et/ou d'une évolution et d'une maturation du système de l'équilibration chez l'enfant. Cette enquête épidémiologique a été menée sur une population de 1679 personnes (937 garçons, 742 filles) issues de différents milieux socio-économiques et de différentes régions. Débutée en 1984 et poursuivie jusqu'à maintenant, elle a fait l'objet de nombreuses publications [3-22], la dernière visant à utiliser du matériel ergonomique pour améliorer la posture assise de l'enfant et sa cognition [23].

Méthodologie

Afin de comparer l'évolution posturale des enfants, en fonction de l'âge et du sexe et de tenter de tracer une typologie des sujets posturalement « normaux » et « anormaux », l'ensemble des sujets a subi, successivement, trois tests posturaux exécutés dans des conditions spécifiques.

Définition des populations

Le recrutement des sujets est non spécifique. Il inclut les porteurs ou non de correction visuelle ou encore ceux qui en nécessiteraient, les porteurs ou non d'appareil dentaire, de semelles mécaniques ou proprioceptives, etc.

Tests cliniques utilisés

En dehors des spécificités ci-après, les protocoles sont identiques à ceux décrits aux chapitres 9.1 et 7.1.

Dans le calme, chaque élève a passé les trois tests cliniques suivants :

1. Le test de piétinement de Fukuda (voir chapitre 9.1) en tête neutre, puis la tête tournée, par tirage au sort, soit à droite soit à gauche, enfin de l'autre côté. Le sujet, bras tendus à l'horizontale devant lui, regarde, avant de fermer ses yeux, une cible visuelle placée à hauteur de ses yeux, entre 3 et 5 m de distance. Le sol est plat et la piste de Fukuda est tracée sur une surface dure. Le métronome est réglé à 75 battements/minute. Aux jeunes enfants (6-7 ans), la procédure intégrale est montrée au préalable et quelques piétinements, les yeux ouverts, sont répétés afin d'intégrer le mouvement. Pendant le test, l'occlusion des yeux est vérifiée fréquemment. La mesure de la déviation est notée à 5° près jusqu'à 75° et à 10° près au-delà.
2. La manœuvre de positionnement des index de J.B. Baron (adaptée à partir du test Romberg postural, voir chapitre 8.2). Le sujet, pieds placés sur le gabarit de la verticale de Barré (voir chapitre 7.1), regarde droit devant la verticale située entre 80 cm et 90 cm, dans son plan sagittal intermalléolaire. Une feuille de papier centimétrée (180 × 90) est placée face au sujet de façon à ce que

son centre soit dans son plan sagittal. Les index du sujet visent deux verticales rouges, dessinées à 4 cm de part et d'autre du centre de la feuille. La déviation de chaque index par rapport à ces verticales est mesurée après 20 secondes d'occlusion des yeux. La déviation la plus grande est notée.

3. La verticale de Barré de dos au niveau de C7 (voir chapitre 7.1). Les 2 tests sont effectués successivement. Un gabarit maintient un fil à plomb positionné entre 10 et 20 cm derrière le sujet, dans son plan sagittal intermalléolaire. L'observateur mesure la déviation de l'épineuse de C7, préalablement repérée par un trait de craie sur le dos du tee-shirt, tendu, du sujet. Les déviations de C7 sont mesurées, yeux fermés, à l'aide d'un triple décimètre, à 0,5 cm près. Afin de gagner du temps, la mesure de la position des index peut être effectuée à la suite. L'observateur regarde au-dessus de la tête du sujet et mesure la déviation. Un banc placé derrière le sujet, facilitera l'observation.

Définition de la population ou typologie

Afin de déterminer, pour chacun des tests, si un sujet est hors norme, il a été calculé à partir des résultats de tous les sujets, par tranche d'âge et pour chaque test, la moyenne et l'écart type des déviations. Après avoir ôté le risque de première espèce, les valeurs de référence, que nous appellerons ici « normes », ont ainsi été définies et ont servi à définir des typologies pour les filles et les garçons. L'étude de ces valeurs (cf. annexes) a permis de mesurer la stabilité et l'instabilité posturale des enfants de 7 à 18 ans.

Dans la typologie suivante, 3 populations d'enfants sont distinguées : les posturalement normaux (PN) ne présentent, pour les trois tests, aucune déviation supérieure aux normes ; les « ? » en présentent une ; les posturalement hors norme (PHN) en présentent 2 ou 3.

Évolution de la typologie, de 9 à 18 ans, des filles et des garçons

Suite à un travail préliminaire, il est apparu important de distinguer l'équilibre des filles de celui des garçons.

Afin de pouvoir comparer, en même temps, les enfants à différents âges, nous avons retranscrit une synthèse de nos différentes observations ([tableau 15.1](#)).

Il existe des ruptures significatives dans la maturation du système de l'équilibre entre 11 et 12 ans ($p < 0,0001$) puis entre 13 et 14 ans ($p < 0,04$). La rupture est plus importante chez les garçons entre 11 et 12 ans ($p < 0,00009$) et plus progressive chez les filles. Chez celles-ci, l'évolution de la typologie est significative entre 9 et 14 ans ($p < 0,001$), puis entre 14 et 18 ans ($p < 0,001$).

Nous observons une très nette évolution de la typologie (exprimée en pourcentage de la population totale) sur les [figures 15.1](#), [15.2](#) et [15.3](#).

Les garçons à partir de 15 ans sont de moins en moins « ? » et de plus en plus PN ou PHN ([figure 15.1](#)), tandis que les filles sont de moins en moins PN et de plus en plus PHN ou « ? » ([figure 15.2](#)). Ainsi, les filles et les garçons

TABLEAU 15.1. Synthèse statistique aux tests du Khi 2 de l'évolution entre les différentes classes d'âge de 9 à 18 ans.

Population	Tranches d'âge	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
Échantillon total	Khi 2, ddl 2	2,54	1,62	17,26	0,06	6,44	0,37	1,23	0,08	0,29
	p <	ns	ns	0,0001	ns	0,04	ns	ns	ns	ns
Garçons	Khi 2, ddl 2	3,85	5,02	18,54	0,31	3,50	0,96	3,98	0,39	1,64
	p <	ns	ns	0,00009	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Filles	Khi 2, ddl 2	2,27	5,48	5,49	0,47	5,40	0,62	0,72	0,56	0,16
	p	ns	0,06	0,06	ns	0,06	ns	ns	ns	ns

Khi 2 effectué entre 11 et 12 ans : 11-12 ; p : probabilité ; ns : non significatif.

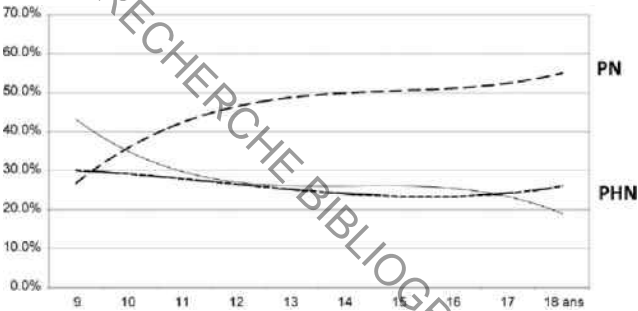


FIGURE 15.1. Évolution de la typologie des garçons.

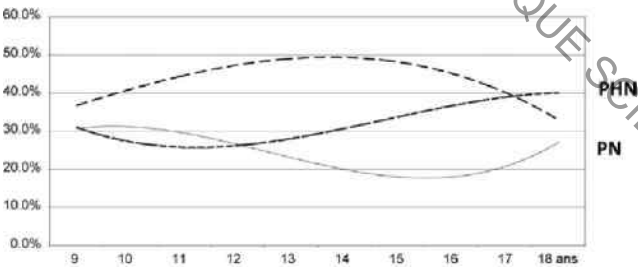


FIGURE 15.2. Évolution de la typologie des filles.

évoluent de façon inverse, ce qui donne l'illusion d'une population qui reste stable (figure 15.3).

À 18 ans, près d'une personne sur deux ne présente pas d'asymétrie posturale (PN), tandis que 30 % sont PHN (figure 15.3) : plus de 57 % des garçons sont PN et seulement 32 % des filles. Enfin, il y a plus de PHN (40 %) chez les filles que de PN (30 %) (figure 15.2). Qu'en est-il à l'âge adulte, au moment de la

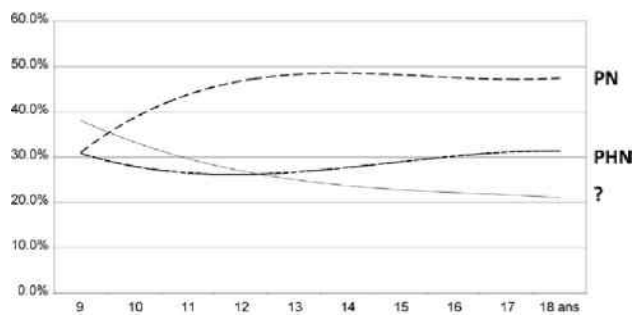


FIGURE 15.3. Évolution de la typologie en pourcentage de la population de 9 à 18 ans.

grossesse et de la ménopause ? Les bouleversements hormonaux, les grands événements de la vie (stress, traumatologie, etc.) perturbent-ils plus le système d'équilibration des femmes que celui des hommes ?

Évolution cyclique du système de maturation de l'équilibre de l'enfant

Afin de mieux percevoir l'évolution de cette typologie clinique et de ces 3 courbes, nous avons calculé la moyenne du nombre de tests hors norme (0, 1, 2 ou 3) (figure 15.4). Le système de maturation est presque cyclique, en passant par des phases qui présentent plus ou moins de tests hors norme.

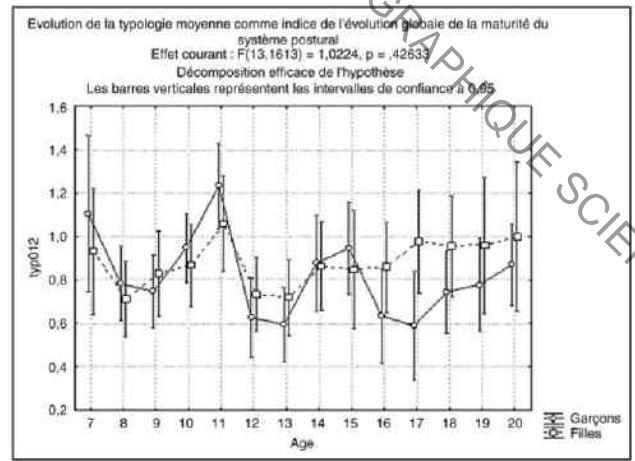


FIGURE 15.4. Évolution de la maturation du système de l'équilibre.

On note une différence de maturation du système qui semble plus précoce chez la jeune fille à 8 ans par rapport au jeune garçon à 9 ans. On observe une courbe stable chez la fille à partir de 14 ans alors que cela reste cyclique chez le garçon jusqu'à 20 ans. Le système est-il plus mature chez la jeune fille à partir de 14 ans tandis que le garçon resterait instable jusqu'à 20 ans ? Après la puberté, il existe une très forte différence significative à partir de 16 ans ($p < 0,003$).

Plus la moyenne augmente, plus le nombre de personnes présentant des tests hors norme est important, et plus il y a d'instabilités.

Une fenêtre longitudinale sur la posture : évolution vers une instabilité entre 8 et 11 ans

Les maturations (morphologique, psychologique et physiologique), l'adaptation au cours de la jeune enfance jusqu'à 7 ans et les stratégies d'équilibre ont été décrites dans de nombreuses études [24-26], mais l'étape suivante du développement de l'équilibre était encore peu explorée dans les années 2000.

La moyenne des typologies évolue avec l'âge de l'enfant (voir ci-avant). Une étude longitudinale de 252 de ces enfants suivis pendant 3 ans montre qu'à 8 ans, l'enfant entre dans une nouvelle phase de maturation [10-12, 19].

Entre 8 et 11 ans, 70,1 % des enfants changent plus ou moins régulièrement de typologie. Seuls 29,9 % restent stables, c'est-à-dire présentent sans en changer la même typologie. Il est alors possible de définir 2 modèles. Le modèle (A) est constitué d'enfants, PN ou « ? », qui ne sont jamais PHN, et le modèle (B) constitué d'enfants qui ont été 1, 2 ou 3 fois PHN (tableau 15.2).

6 % des enfants ne présentent que des réponses PN, tandis que 11,1 % ne présentent que des réponses PHN. Cette très forte mobilité de la typologie clinique de 8 à 11 ans est le reflet d'une évolution de la maturation du système d'équilibre qui engendre des perturbations et une évolution des asymétries posturales constatée lors de ces 3 tests.

De plus, à partir d'une analyse en composante principale, il a été constaté que les garçons PHN sont, au même âge, plus grands que les garçons PN. Cette différence significative de 5 cm (Anova, $p < 0,05$) est conservée de 8 à 11 ans. Être plus grand est-il un des éléments de la perturbation de l'équilibre ?

Relations entre la posture et les activités cognitives

Après avoir présenté l'évolution de la posture chez l'enfant, nous allons synthétiser une recherche entre la posture et la cognition, menée entre 1988 et 2011 sur 2477 sujets entre 8 et 25 ans.

TABLEAU 15.2. Pourcentage d'enfants qui gardent la même typologie ou en changent au cours des 3 années.

		Filles + Garçons	Filles	Garçons
Modèle A : PN et « ? »	Reste PN pendant 3 ans	6 %	7,1 %	4,9 %
	Reste « ? » pendant 3 ans	12,8 %	5,33 %	7,46 %
	Passe de 1 à 3 fois de PN à « ? » ou inversement	53 %	60,7 %	45,9 %
Modèle B : PHN	Passe de 1 à 3 fois PHN ou PN	29,9 %	25 %	34,4 %
	Reste PHN pendant 3 ans	11,1 %	7,1 %	14,8 %

Redoublement au collège et au lycée

Sans avoir établi des rapports de causalité directe, il a été noté :

- dans un premier temps, en étudiant l'influence de la typologie de 524 collégiens sur le taux de retard scolaire ($p < 10^{-9}$) [1, 3], que 63 % des PHN redoublent contre 30,2 % des PN ;
- dans un deuxième temps, en comparant le taux de redoublement de ces collégiens et de 228 lycéens (77 filles, 15 garçons) PN et PHN, que les lycéens PN garçons passent en moyenne de 63 % à 76 % tandis que les PHN passent de 63 % à 91 % ($p < 0,05$) (tableau 15.3).

Bien que non significatif, ce constat semble inversé chez les lycéennes qui redoublent à 48 % chez les PHN contre 57 % chez les PN. Un problème de posture n'entraîne pas une moins bonne réussite scolaire chez la fille PHN, bien au contraire.

À la fin de la scolarité, la jeune fille PHN a les meilleurs résultats tandis que le garçon PHN a les moins bons ($p < 0,001$).

De la réussite en lecture à l'université

Sur ces mêmes 228 lycéens, 151 (PN, PHN) sont entrés à l'université et testés spécifiquement en lecture rapide et en lecture sélective (tableau 15.4).

TABLEAU 15.3. Pourcentage de redoublement des filles et des garçons, PN et PHN, à l'issue de leur scolarité avant de passer le Bac.

Efficacité scolaire	Redoublement	Différence	en %	p
1. Filles PHN	48 %	entre 1 et 2	9,63	ns
2. Filles PN	57 %	entre 2 et 3	18,37	0,03
3. Garçons PN	76 %	entre 3 et 4	15,09	0,05
4. Garçons PHN	91 %	entre 1 et 4	43,09	0,001

ns : non significatif. La numérotation 1, 2, 3 et 4 est attribuée pour effectuer des comparaisons intergroupes.

TABLEAU 15.4. Efficacité de la lecture rapide des filles et des garçons, PN et PHN.

Lecture rapide	Vitesse de lecture en signes/heure	Compréhension en %	Efficacité Vitesse × Compréhension	Différence	p
1. Filles PHN	67 000	80	5374	entre 1 et 2	0,05
2. Filles PN	64 100	73	4759	entre 2 et 3	ns
3. Garçons PN	65 200	73	4815	entre 3 et 4	0,03
4. Garçons PHN	62 600	65	4047	entre 1 et 4	0,00005

ns : non significatif. La numérotation 1, 2, 3 et 4 est attribuée pour effectuer des comparaisons intergroupes.

Il ressort une corrélation directe entre l'efficacité scolaire et l'efficacité de la lecture rapide et/ou sélective : les filles PHN sont meilleures lectrices sélectives et rapides que les filles PN ($p < 0,05$) et que les garçons PHN ($p < 0,00005$), avec, pour les deux comparaisons, une meilleure compréhension. Les garçons PHN sont les moins efficaces. Les stratégies de lecture différentes adoptées par les filles PHN les rendent les plus efficaces. Sont-elles le fruit d'un apprentissage spécifique ? Cela pourrait être le cas si les filles étaient séparées des garçons au cours de leur scolarité, mais cela n'expliquerait pas la différence entre les filles elles-mêmes puisque les PHN sont plus efficaces que les PN.

Cela pourrait-il être plutôt le fruit d'une influence du système postural ? Autant de questions qui nous ont amené à poursuivre nos recherches dès le début des apprentissages fondamentaux, à l'école primaire.

Stabilométrie et cognition à l'école primaire (pied pilier-pied moteur)

Tactique du « pied pilier-pied moteur »

Parallèlement aux études cliniques présentées ci-avant, des analyses stabilométriques ont été réalisées. Les publications de ces trente dernières années, sur les relations entre le contrôle postural et les fonctions cognitives supérieures comme l'intelligence, à partir de méthodologies et de populations différentes, révèlent des résultats contradictoires.

Ryan, en 1963 [28], ne trouve pas de relation entre les résultats scolaires et les performances stabilométriques de jeunes enfants normaux, concluant ainsi que les études rapportant des corrélations positives ne concernaient que les enfants mentalement attardés. Il en est de même pour Singer en 1968, sur la balance statique et l'intelligence [29]. En revanche, le lien entre la posture et la maturation cognitive des jeunes enfants dyslexiques a été montré [30]. Ces résultats ont été confirmés par Zazzo [31] et Kohen-Raz sur des enfants du premier cycle de l'enseignement primaire. Des projets de réhabilitation des enfants dyslexiques ont même déjà été mis en place par Kohen-Raz en Israël depuis 1986.

L'expérience de Ghelfi [32] sur 200 enfants âgés de 13 à 18 ans a montré soit une relation positive entre le contrôle de la balance et la réussite à des tests de langage et de littérature, soit une relation négative avec des tests de mathématiques. Plus récemment, Da Cunha [33], puis Da Silva O. et Quercia P. [34] ont suggéré que l'on pouvait aider des enfants dyslexiques à partir de traitements posturaux.

Chez l'enfant de 8 à 11 ans, le paramètre stabilométrique « pied pilier – pied moteur » est le plus pertinent pour envisager la relation entre la posture et la cognition. Des cybersabots de mesure (de type Innovative Technologie©) permettent de calculer dans les conditions standards [35], mais à 40Hz, la surface du centre de pression de chaque pied [36].

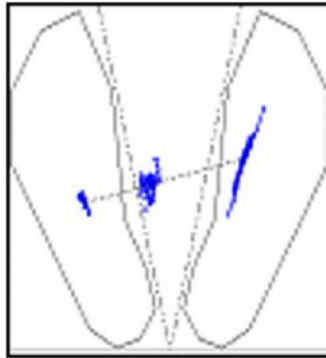


FIGURE 15.5. Pied pilier-Pied moteur.

On observe un pied pilier gauche et un pied moteur droit.

Le pied moteur est nommé ainsi **uniquement** si la différence des surfaces entre les 2 pieds est supérieure à 100 mm^2 les yeux ouverts et à 106 mm^2 les yeux fermés (figure 15.5). À partir de ces valeurs, la mesure est reproductible ; en dessous, le sujet, au cours de 3 enregistrements successifs effectués sans descendre de la plate-forme, est susceptible de diminuer la différence de ses surfaces yeux ouverts et fermés et le côté gauche ou droit de son pied pilier.

Déterminer des « pieds piliers-pieds moteurs » définit ainsi une tactique d'équilibration bien particulière chez l'enfant. Le nombre d'enfants la présentant diminue de 8 à 11 ans : 72 % à 8 ans contre 30 % à 10 ans. Ancré sur le pied pilier, le CdP du pied moteur oscille d'avant en arrière. L'épaule du côté du pied moteur semble osciller également d'avant en arrière, en arc de cercle, comme un compas sur sa pointe. La ligne des épaules semble alors orienter vers le bas du côté du pied pilier. L'association de ces trois éléments est appelée la « danse des épaules » [11] (figure 15.6). Est-elle l'adaptation provisoire du passage d'une tactique de hanche à une tactique de pied ou la non-maîtrise de cette tactique d'équilibration ?

Tactique du « pied pilier-pied moteur » et cognition

Sur la même population, en milieu social favorisé et défavorisé, il a été recherché l'influence de la variable « avoir un pied moteur » sur les variables : redoublement, lecture rapide, lecture compréhension, décodage de mots contexte et hors contexte, français et mathématiques. À partir d'une régression linéaire généralisée, ce paramètre pied moteur, les yeux ouverts, a l'incidence la plus significative ($p = 0,008$) sur le modèle entier des variables cognitives.

À titre d'exemple, sont présentés les résultats statistiques en Français, au cours d'une évaluation nationale (tableau 15.5 et figure 15.7).

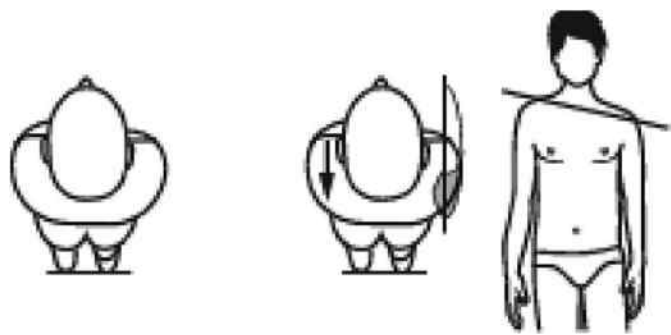


FIGURE 15.6. « Danse des épaules ».
L'enfant oscille d'avant en arrière à partir d'un pied pilier. La ligne des épaules est orientée vers le bas, ici à gauche.

TABEAU 15.5. Effets du pied moteur sur les variables cognitives en français dans la classe de CE2.

Variable	Corrélation multiple R ²	p
Compréhension en français	0,08	0,05
Connaissances	0,08	0,03
Production d'écrits	0,12	0,003
Score en français	0,10	0,01

Tous les items du français sont influencés par la présence d'une tactique « pied pilier-pied moteur ». La tactique « avoir un pied moteur » perturbe les résultats scolaires. Ceux qui « dansent » le plus seraient les moins efficaces (figure 15.7). Si la danse des épaules était corrélée au pied pilier-pied moteur, elle permettrait de dépister les difficultés d'apprentissage scolaire.

Revirements de performance cognitive sur la période charnière de 8 à 11 ans liés à la posture

Dans l'échantillon précédent, en classe de CE2 (8-9 ans), les filles et les garçons PHN sont les plus faibles et les garçons PN ont les meilleurs résultats scolaires. Quel que soit le milieu, favorisé ou défavorisé, les filles PHN qui révèlent trois réponses asymétriques hors norme aux trois tests cliniques sont même

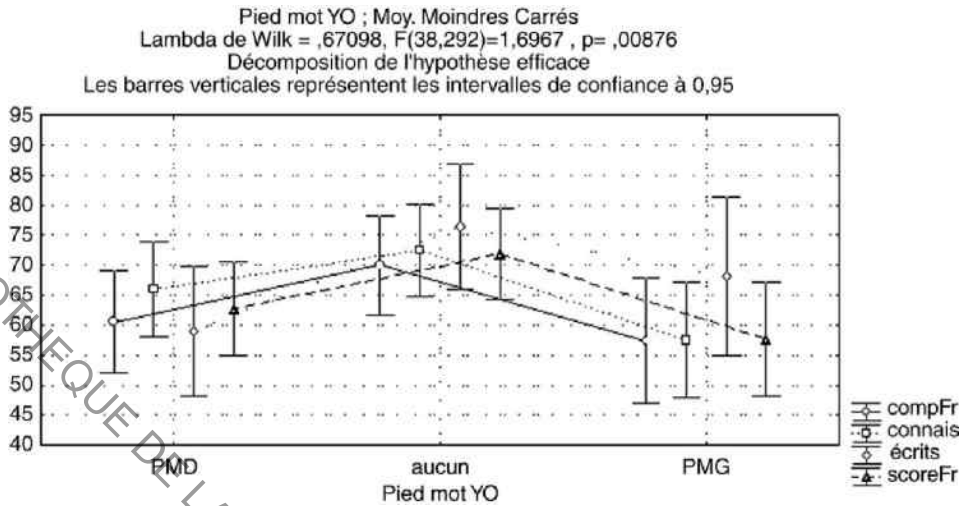


FIGURE 15.7. Effets de la variable du paramètre pied pilier-pied moteur sur les résultats aux tests d'évaluation nationale de français en classe de CE2.

PMD : pied moteur droit. PMG : pied moteur gauche. On trouve en ordonnée les scores obtenus en compréhension en français, en connaissances, en écrits, ainsi que le score global en français.

les moins performantes, notamment avec près de 36 % dans l'efficacité de la lecture rapide ($p < 0,01$) :

- filles PHN : vitesse de $12\,159 \pm 2935$ s/h avec une compréhension de $45\% \pm 24$;
- garçons PN : vitesse de $15\,943 \pm 5092$ s/h avec une compréhension de $55\% \pm 22$.

En fin de CM1 (9-10 ans), en même temps que le système d'équilibration du système évolue chez la fille, pour les PHN, on observe une amélioration des résultats scolaires. Les garçons PHN, quant à eux, restent les moins bons, quel que soit le milieu (favorisé ou défavorisé). Les filles PHN deviennent les plus performantes en CM1 et les garçons PHN les moins « bons ».

Un an plus tard, en CM2 (10-11 ans), on observe également un revirement dans la réussite des garçons PHN. Lors de la passation de l'épreuve de l'évaluation nationale de 6^e, constituée d'items de français et de mathématiques, les garçons PHN ont maintenant, eux aussi, rattrapé leur retard et même dépassé les garçons PN.

À titre d'exemple, les résultats en mathématique au cours de l'évaluation nationale des filles et des garçons sont présentés dans la [figure 15.8](#).

Les PN ont des réponses moyennes autour d'une codification de 3,7 alors que les PHN ont des réponses moyennes autour de 2,5, ce qui correspond aux meilleurs résultats.

Les filles et les garçons PHN deviennent les plus performants en fin de CM2.

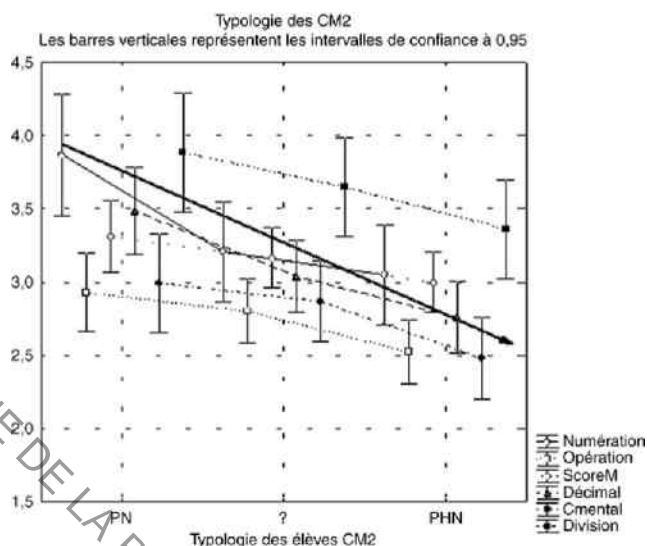


FIGURE 15.8. Effets de la typologie sur les scores de mathématiques lors de l'évaluation nationale de 6^e.

On trouve en ordonnée les résultats codifiés : 1 = sans faute, 9 = tout faux. La flèche noire représente un modèle de la codification des scores en mathématiques.

L'amélioration constatée pour les PHN, en CM1 pour les filles et un an plus tard pour les garçons, est-elle le reflet :

- d'une évolution cognitive plus lente ;
- d'une adaptabilité moindre puis d'un rattrapage tel que l'on peut le constater chez les garçons en lecture (Bentolila A.¹, conférence 2001, non publiée) ;
- d'une maturation des deux systèmes, cognitif et d'équilibration, qui semblent liés dans leur évolution ? On retrouve le décalage d'un an décrit plus haut entre les filles et les garçons.

Une évolution similaire au collège est constatée [18]. Les garçons PHN *versus* PN restent « meilleurs » en classe de 6^e. Leurs résultats se dégradent à partir de la 4^e.

Influences respectives des paramètres sociaux et de la posture sur la cognition

Il est reconnu que les paramètres sociaux – les zones favorisées ou sensibles, les catégories socioprofessionnelles des parents, leurs niveaux d'études, la fratrie, les activités culturelles et sportives proposées ou non, les cours particuliers, le fait d'aller à la bibliothèque, l'éloignement du domicile, etc. – interviennent dans la réussite ou l'échec scolaire.

1. Président de l'Observatoire national de la lecture.

Le poids de l'ensemble de 24 paramètres sociaux sur la réussite ou l'échec scolaire a été isolé par une analyse en composante principale (ACP) sur 1350 (11-22 ans) des 1679 sujets (8-22 ans), puis comparé de la même façon à celui de la posture par un modèle créé à partir des 3 tests.

Toutes choses égales par ailleurs, une « première fondamentale » constituée à partir de ces 24 variables, a montré qu'ils avaient une influence sur 40 % de la variance des résultats scolaires recueillis (9 disciplines scolaires, moyenne générale, redoublement). Le modèle clinique constitué à partir des 3 tests a, lui, une influence sur 10 % de la variance des résultats scolaires.

Sport, posture et cognition

La recherche systématique de la manifestation des asymétries posturales, dans diverses activités motrices et sportives, a débuté par celle observée dans la brasse, qui initiait avant 1990 l'apprentissage de la nage. Une forte corrélation ($r = 0,89$) a été retrouvée entre trois des défauts techniques de la dissymétrie en brasse [1, 38] et deux des tests cliniques [36].

Les défauts techniques des jambes proviennent soit d'une étiologie posturale (66 %), soit d'un réflexe nuéal physiologique (14 % ; l'enfant tourne la tête pour éviter l'eau dans les yeux) et 20 % présentent un défaut d'apprentissage (battements simultanés ou alternés des 2 jambes).

Ces trois problématiques peuvent également se révéler dans des activités comme l'athlétisme (sprint et javelot), la gymnastique (3 roulades avant les yeux fermés, flip, salto arrière), le patinage (équilibre dynamique sur un pied) [2, 8, 37] et la natation dans diverses nages [38].

Les trois roulades avant, les yeux fermés (voir chapitre 9.2) : dépistage en milieu scolaire des asymétries posturales et relations avec la cognition

En plus des trois tests cliniques décrits plus haut, parmi les tests sportifs, le test des trois roulades est également utilisé afin de mettre en relation l'expression d'une asymétrie tonique et la cognition.

Une population de 735 élèves (376 garçons et 359 filles) âgés de 11 à 18 ans, issus de plusieurs établissements privés de milieu non défavorisés, réalise ce test.

30,9 % de ces élèves dévient d'au moins 20 cm après de la 3^e roulade, dont 7,4 % de plus de 40 cm. Il n'existe pas de différence significative entre les filles et les garçons, quel que soit l'âge.

La déviation est significativement corrélée (régression linéaire) à l'association des 3 tests cliniques posturaux, mais essentiellement avec le test de Fukuda tête neutre ($p < 0,0006$) et les gains nucaux ($p < 10^{-6}$). Elle l'est également aux résultats scolaires dans six des neuf disciplines (français, mathématiques, langue, histoire, EPS, etc.) et au redoublement ($p < 0,00002$).

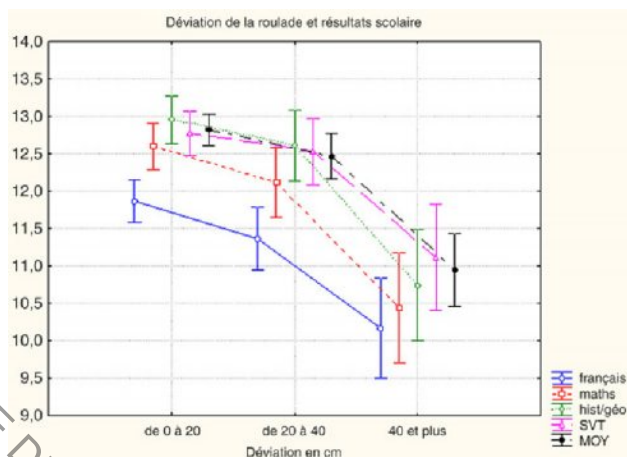


FIGURE 15.9. Effet des déviations relevées (en cm) après 3 roulades avant les yeux fermés sur le français, les mathématiques, l'histoire-géographie, les sciences de la vie et de la terre et la moyenne générale.

Les effets des déviations lors des trois roulades sur 4 disciplines sont présentés dans la [figure 15.9](#).

Les enfants qui présentent de fortes déviations au cours de la roulade avant sont ceux qui redoublent le plus et qui ont les moins bonnes moyennes dans les disciplines scolaires, étonnamment ni en musique, ni en arts plastiques, ni en EPS ($p < 10^{-8}$). Les filles qui dévient de plus de 40 cm ont même une moins bonne moyenne que les garçons ($p < 0,05$) et en histoire-géographie ($p < 0,02$).

Discussion

La maturation du système postural d'aplomb est loin d'être achevée à 7 ans. De 8 à 11 ans, les entrées du SPA (visuelle, vestibulaire, podale et proprioceptive) s'intègrent l'une après l'autre et chacune devient plus ou moins dominante. La phase d'intégration des entrées semble rendre le système moins performant. Vers 9 ans, la jeune fille semble s'améliorer : elle perd sa tactique « pied pilier-pied moteur », signe d'un SPA immature ; de plus, la moyenne des typologies s'améliore. Il en est de même pour le garçon, mais à partir de 10 ans. Dès 8 ans, on observe un phénomène cyclique, d'améliorations et d'aggravations, qui s'arrête à 14 ans chez la fille, alors qu'il reste présent à 20 ans chez le garçon ([figure 15.4](#)).

Cette maturation se manifeste toujours à 14 ans chez le garçon dont les réflexes nucaux évoluent encore [20]. De plus, les paramètres stabilométriques, avec une cible visuelle placée à deux mètres, s'améliorent jusqu'à 30 ans chez la femme et 40 ans chez l'homme, avant de se stabiliser et régresser [39].

Comme la maturation du SPA fluctue, son influence est également indéniable sur la cognition, mais différemment entre fille et garçon. La cognition de ce dernier est particulièrement sensible aux variations cycliques des typologies, ce qui le rend moins performant, voire inefficace : en fin de scolarité, le garçon posturalement hors norme a présenté le taux de redoublement le plus élevé (91 %, [tableau 15.3](#)).

L'étude de la posture et de la cognition doit également tenir compte de tous les facteurs sociaux. Ceux-ci ont une influence quatre fois plus notable (40 %) que la posture sur l'efficacité scolaire. Les parents peuvent, dans certains milieux, faire suivre leurs enfants lors d'une diminution de leurs résultats scolaires. Il est ainsi plus aisé de comprendre les controverses, soulevées dans la littérature, sur les enfants dits normaux, c'est-à-dire non dyslexiques, non dysgraphiques, etc.

Des études ultérieures devraient se dérouler sur des populations plus nombreuses et sur plus de trois ans, en tenant compte du critère fille ou garçon. Elles incluraient régulièrement des tests cliniques et/ou stabilométriques, des tests moteurs, de nombreux types de tests cognitifs, ceux mesurant l'intelligence notamment, tout en tenant compte de la fatigue, des différentes périodes de concentration de l'enfant ou de son état de « stress ».

Les conséquences des asymétries toniques sont aisément observables dans les activités motrices et sportives de l'enfant, mais aussi sur l'ensemble de la population à tout âge. Lorsque ces « défauts techniques posturaux » sont constatés, voire mesurés, il est alors possible de les mettre en relation avec des plaintes fonctionnelles (cf. attitudes scoliotiques posturales étudiées par Fabre [\[41\]](#)), des problèmes cognitifs [\[28, 29\]](#) ou l'évolution de l'équilibre jusqu'à 87 ans [\[39\]](#).

Actuellement, une étude reprenant les items précédents est menée en école maternelle, à l'âge où le corps est particulièrement relié aux apprentissages fondamentaux et à la cognition.

Nous recherchons également l'effet causal d'une modification de la posture, à court et moyen terme, sur la cognition. Pour cela, l'effet d'un environnement ergonomique spécifique [\[34\]](#), proposé par A. Da Silva, est mesuré sur la posture et la cognition.

Conclusion

Posture, mouvement et cognition semblent liés. La corrélation varie suivant le sexe, le milieu social et l'âge, jusqu'à 18 ans au moins. Des phases régulières d'aggravations et d'améliorations, dont l'âge de départ est différent selon le sexe, se dégagent. Une asymétrie hors norme, mise en évidence par trois tests posturaux, est aussi vécue différemment selon le sexe. La fille posturalement hors norme tend à améliorer ses résultats scolaires, tandis que le garçon fait l'inverse, à tel point qu'il redouble plus souvent pendant la scolarité. Asymétrie posturale ne signifie donc pas, systématiquement, problèmes scolaires ou cognitifs.

15.2. Le vieillissement du contrôle postural

Philippe Thoumie

Les mécanismes qui sous-tendent le contrôle du mouvement le maintien de la stabilité et de l'équilibre sont complexes car ils mettent à contribution des structures très variées du système nerveux. La perturbation des capteurs extéroceptifs et proprioceptifs, des voies et/ou des centres impliqués dans ce contrôle à l'occasion du vieillissement physiologique, contribue au maintien de la stabilité, à la genèse de troubles de l'équilibre et des chutes.

Une posture correspond au maintien de tout ou partie du corps dans une position de référence. Amblard et al. ont proposé de caractériser la posture en fonction des deux propriétés que sont l'orientation et la stabilisation [42].

Le contrôle de la stabilité de l'équilibre est l'un des aspects particuliers du contrôle postural qui est particulièrement développé chez l'homme, en raison de l'instabilité naturelle de la position bipodale. C'est à partir de cette position debout érigée que les réactions à la déstabilisation sont les plus complexes et s'opposent à la tendance naturelle de la chute, que l'on peut interpréter comme un échec des réactions de correction de la stabilisation.

Rappels de base neurophysiologiques du contrôle postural

Le contrôle de l'équilibre fait appel à des effecteurs musculaires contrôlés par des structures du système nerveux central, elles-mêmes connectées à des afférences périphériques, l'ensemble constituant un système de régulation fortement automatisé [43].

Les structures du SNC

Les structures du SNC mises en jeu dans le contrôle postural sont, de façon privilégiée, le tronc cérébral, le cervelet, les ganglions de la base et les hémisphères cérébraux au niveau de l'aire motrice supplémentaire et du lobe pariétal droit.

Les ganglions de la base, les noyaux vestibulaires et le tronc cérébral sont les centres régulateurs des ajustements posturaux. Ils agissent en boucle de rétroaction (feed-back) pour la stabilité et d'anticipation (feed-forward) pour le mouvement.

Les structures hémisphériques jouent un rôle privilégié dans la représentation corporelle qui fixe le référentiel égocentré. La participation consciente à la régulation de l'équilibre prend une part croissante au fur et à mesure que la situation de référence est plus instable.

Le cervelet joue un rôle important dans la régulation du mouvement au niveau des synergies musculaires. On insiste depuis quelques années sur son rôle clef dans l'acquisition des mouvements.

Les effecteurs musculaires

Les effecteurs musculaires sont répartis sur l'ensemble de la musculature, tant axiale que périphérique. Pour assurer la partie active du contrôle postural et de l'équilibre, ils doivent s'opposer à l'action de la pesanteur sur les segments de membres superposés. Ils exercent ainsi ces forces, soit de façon passive par la mise en jeu de leur composante viscoélastique, soit de façon active par leur recrutement le plus souvent automatique.

Les afférences périphériques

Les afférences périphériques regroupent les afférences proprioceptives (neuro-musculaires), extéroceptives (cutanées), labyrinthiques et visuelles. Il est possible de caractériser leur activation à partir de leur délai de mise en jeu et leur sensibilité au mouvement. Ainsi, au niveau des réponses évoquées dans les membres inférieurs, les afférences du fuseau neuro-musculaire sont les plus rapidement mises en jeu lors d'un étirement minime (sensibilité de l'ordre de 0,1 mm). Les afférences vestibulaires sont responsables lors de la chute verticale de l'apparition d'une activité électromyographique dans les membres inférieurs dont la latence est de 75 ms, alors que les afférences visuelles ne contribuent à moduler les réponses à la déstabilisation qu'au-delà de 100 millisecondes.

La sensibilité au déplacement a été étudiée sur plate-forme dynamique par Fitzpatrick et McCloskey [44] : la sensibilité au déplacement en position debout était de l'ordre de 10 minutes d'angle, ce qui correspond à la sensibilité proprioceptive des membres inférieurs seuls, issue des fuseaux neuromusculaires. Le seuil visuel était plus élevé à une vitesse de déplacement basse, identique à une vitesse de déplacement élevée. Le seuil vestibulaire était le plus élevé (4 degrés), ce qui avait déjà été établi par d'anciens travaux.

Évaluation instrumentale de la posture, de la stabilité et de l'équilibre

Les concepts concernant la régulation de l'équilibre ainsi que les mesures instrumentales des paramètres d'équilibration se sont développés à partir de l'utilisation des plates-formes de forces dont la conception a évolué avec le temps. À côté des plates-formes statiques de conception déjà ancienne, se sont développées des plates-formes dynamiques auxquelles sont maintenant couplés enregistrements électromyographiques et cinématiques.

La complexité croissante des systèmes, si elle éloigne l'évaluation instrumentale de la sphère de l'exploration accessible au quotidien, a permis de mieux préciser les caractéristiques de l'équilibre en termes de réactions, de référentiel et de stratégies d'équilibration.

Posturographie statique

Les plates-formes de force sont composées d'un plateau rigide de taille variable reposant sur plusieurs transducteurs qui transforment la force appliquée en un signal électrique. La mesure des forces et moments exercés au niveau de la plate-forme permet d'en déduire les coordonnées du centre des pressions et de suivre ses variations dans le temps. L'enregistrement simultané des variations du centre de gravité et des variations du centre des pressions montre, au niveau de ce dernier, des variations de plus forte amplitude et de plus haute fréquence. On admet que, dans les conditions d'un équilibre quasi-statique (oscillations de basse fréquence), les variations du centre des pressions sont corrélées à celles du centre de gravité. Dans les autres situations d'instabilité, la stabilométrie n'analyse que les variations du centre des pressions qui ne sont plus représentatives des variations du centre de gravité.

Principes d'utilisation

L'utilisation d'une plate-forme de forces nécessite, pour l'étude de l'équilibre statique, une normalisation des paramètres qui assure la reproductibilité de l'examen et la comparaison avec une population de référence.

Afin que l'entrée visuelle soit étudiée au mieux, l'étude de l'équilibre en position debout, les yeux ouverts, nécessite une stabilisation du regard sur une cible communément placée entre 90 cm et 1,20 mètre [45].

La durée d'acquisition est variable en appui bipodal (20 à 50 secondes), plus réduite en appui unipodal. Plusieurs enregistrements peuvent alors être réalisés en faisant varier les paramètres expérimentaux.

Paramètres de déplacement du centre des pressions

La station debout immobile chez le sujet normal

Elle a particulièrement été étudiée en France par Gagey et Weber [46] qui en ont précisé la valeur des paramètres de base dans la population de référence. La surface que balaie le centre des pressions est extrêmement réduite, proche de 1 cm². Le centre des pressions est situé en arrière et à droite du centre de la plate-forme dans les conditions de normalisation proposées. L'analyse par FFT montre l'absence de pic fréquentiel et des fréquences d'oscillation basses inférieures à 0,5 Hz. Il n'existe pas d'intercorrélation entre les deux paramètres de déplacement antéro-postérieur et latéral.

La fermeture des yeux majore la surface d'oscillation. Le rapport entre les valeurs mesurées yeux fermés et yeux ouverts définit le coefficient de Romberg.

Les limites de la station debout

En dehors des conditions d'application précédentes qui ne concernent que l'équilibre statique, plusieurs auteurs ont proposé l'utilisation des plates-formes de forces dans l'évaluation dynamique de l'équilibre en modifiant les conditions d'appui au sol : on a ainsi pu proposer la mesure de l'équilibre en appui unipodal, sur un support de mousse et lors de tests évaluant les limites de l'équilibre.

La station debout unipodale

Il s'agit d'une situation instable dont on a vu les grandes variations lors de l'évaluation clinique. L'analyse sur plate-forme de forces trouve son intérêt dans une évaluation quantitative de l'instabilité modérée (le patient doit pouvoir tenir au moins 20 secondes) en pratique orthopédique [47]. Par contre, cet examen n'est pas utilisable dans les instabilités majeures liées aux atteintes neurologiques ou au simple vieillissement, la durée de l'appui unipodal dépasse rarement quelques secondes dans ces situations [48]. Le simple test clinique d'appui unipodal prend alors toute sa valeur [49].

L'étude du déséquilibre antéro-postérieur

L'équilibre quasi-statique en appui bipodal ne sollicite qu'une partie du système complexe qui assure l'équilibration. On a pu ainsi montrer que les afférences labyrinthiques n'étaient stimulées qu'au-delà d'une certaine amplitude d'oscillations.

Différents auteurs ont proposé, au cours des dernières années, de sensibiliser l'étude de l'équilibration sur plate-forme de forces en recherchant les limites du déséquilibre.

Ainsi, Schieppati et al. [50] ont proposé de mesurer les coordonnées du centre des pressions dans les conditions de base, puis en position de déséquilibre volontaire avant et arrière. Ces auteurs ont observé chez le sujet sain une diminution des capacités d'inclinaison volontaire les yeux fermés. Il existe de façon remarquable une importante dégradation de ces résultats lors du vieillissement et chez les patients atteints de la maladie de Parkinson.

Posturographie dynamique

Les limites de l'utilisation des plates-formes de forces statiques ont conduit, depuis les travaux initiaux de L. Nashner, à proposer l'utilisation de plates-formes dynamiques, permettant à la fois d'induire un déséquilibre par rotation ou translation de la plate-forme, et de mesurer les conséquences mécaniques du recrutement des muscles assurant la correction de l'équilibre. On se reportera avec intérêt aux travaux de l'équipe de Portland sur cette thématique [51].

Méthodologie

La plate-forme dynamique sur laquelle repose le sujet en appui bipodal est mobile en rotation ou translation ; le déplacement peut être commandé à l'insu du patient. Les paramètres utilisés pour caractériser les réponses au déséquilibre sont les activités électromyographiques ou les valeurs de couple des muscles clefs de l'équilibration et les déplacements des segments de membres mesurés par un dispositif optoélectronique.

Résultats

Les résultats de ces examens peuvent être interprétés à différents niveaux.

Le délai des réponses

Le délai des réponses au niveau d'un même muscle étiré fait apparaître des réponses musculaires de latence variable, correspondant à un niveau d'intégration donné : les réponses de courte latence (40 millisecondes) sont d'origine spinale monosynaptique et les réponses à longue latence (supérieure à 100 ms) sont d'origine supraspinale, c'est-à-dire qu'elles servent de relais par des centres du contrôle de l'équilibre situés à la base du cerveau. La chronologie de mise en jeu des différents groupes musculaires permet de caractériser plusieurs stratégies d'équilibration : disto-proximale ou stratégie de cheville, proximo-distale ou stratégie de hanche.

L'évaluation des réponses motrices en situations de déprivation sensorielle

L'évaluation des réponses motrices en situations de déprivation sensorielle (yeux fermés, sol mousse) permet une exploration des différentes afférences périphériques mises en jeu dans l'équilibration. Un des aspects les plus aboutis de la posturographie dynamique est représenté par l'Equitest ©, une plateforme mobile que l'on peut paramétrer en stabilisant le support ou l'environnement et qui permet, à partir des réponses aux translations du support, de préciser les stratégies utilisées par le sujet et d'orienter le diagnostic des troubles de l'équilibre vers une pathologie d'organe (proprioception, vision, vestibule) plus précise.

Biomécanique de la chute

Si l'équilibre en appui uni ou bipodal a été largement utilisé en recherche fondamentale ou clinique, l'analyse de la chute et de ses caractéristiques en termes d'activités musculaires, de cinétique du centre de gravité et d'impact au sol a été plus rarement abordée.

Le rattrapage de l'équilibre au cours de la chute avant est un protocole original développé par M.C. Do [52] au cours duquel le patient est initialement retenu en position inclinée puis lâché à son insu avec pour consigne de rattraper l'équilibre en quelques pas. L'évaluation fait appel à l'analyse électromyographique de l'activation des muscles des jambes et l'analyse de la dynamique du centre de gravité et du centre des pressions à l'aide d'une plate-forme de forces. Ce protocole permet de mesurer la chute du centre de gravité au cours de la réaction de rattrapage de l'équilibre et la longueur du pas exécuté pour freiner la chute.

La mesure de l'impact lors de la chute est une problématique intéressante mais qui n'est pas sans poser de problèmes méthodologiques, voire éthiques... Van den Kroonenberg et al. [53] ont proposé d'étudier, lors de la chute latérale sur un matelas, l'impact sur la hanche et le membre supérieur ainsi que la position du tronc. Ils ont montré qu'il existait plusieurs façons de chuter, en particulier selon si on résistait à la chute ou, au contraire, si on accompagnait celle-ci.

Le résultat le plus instructif est que les patients qui résistent à la chute ont un impact plus important que ceux qui se laissent tomber. En outre, deux sujets sur six seulement étaient capables de freiner la chute en se retenant avec le membre supérieur.

Vieillessement de la posture, de la stabilité et de l'équilibre

Le vieillissement affecte tous les éléments entrant en compte dans la régulation de la posture et de l'équilibre, qu'il s'agisse du contrôle central, des effecteurs moteurs ou des afférences périphériques [54].

Le vieillissement des afférences est le mieux connu, car le plus facile à évaluer.

Le vieillissement du système nerveux périphérique a pour conséquence chez le sujet âgé, en l'absence de neuropathie caractérisée, une diminution de la sensibilité vibratoire et discriminative tandis que les explorations neurophysiologiques montrent une diminution des vitesses de conduction nerveuse après 60 ans.

Au niveau visuel, le vieillissement se caractérise par une diminution de la perception fovéale et périphérique et, de façon plus spécifique, par une diminution de la perception visuelle des oscillations spontanées du corps par rapport à l'environnement.

Au niveau vestibulaire, le vieillissement n'est responsable de troubles de l'équilibration que dans les conditions d'exclusion des autres afférences proprioceptives ou visuelles.

Plusieurs protocoles ont été proposés afin de caractériser le vieillissement du contrôle postural, faisant appel, suivant les cas, à la posturographie statique, dynamique ou à des paradigmes expérimentaux plus sophistiqués.

Sur plate-forme de force statique (examen stabilométrique), le vieillissement se caractérise par une augmentation des oscillations posturales que l'on peut rapprocher de la perte de la sensibilité discriminative au niveau des pieds sans que cette relation soit exclusive de tout autre paramètre. L'élément le plus caractéristique est l'importance prise au cours du vieillissement par les afférences visuelles, qui se caractérise par une augmentation du coefficient de Romberg (voir chapitre 8.2). Dans ces conditions, le sujet âgé « s'accroche » à ses afférences visuelles, plus qu'aux autres afférences, proprioceptives ou vestibulaires [55]. Au-delà d'un certain âge, on observe, suivant certains auteurs, une inversion de ces résultats, témoignant de la dégradation de la fonction visuelle qui perd alors de sa prépondérance dans les réactions de stabilisation.

L'étude de l'équilibre dynamique sur plate-forme de forces a montré chez les personnes âgées l'utilisation plus fréquente de la stratégie de hanche. Privilégier cette stratégie de hanche chez la personne âgée apparaît donc comme une réponse à la perte des afférences périphériques des membres inférieures, bien que l'on ne puisse exclure la participation d'autres paramètres biomécaniques (la diminution de la force des Tibialis et les rétractions d'Achille communément

observées lors du vieillissement diminuent également la capacité de réaliser une flexion dorsale de cheville, donc d'utiliser la stratégie de cheville).

Dans le rattrapage de l'équilibre proposé par M.C. Do, Thelen et al. [52, 56] ont montré chez les personnes âgées que cette stratégie n'était envisageable que jusqu'à un degré d'inclinaison du corps en avant, au-delà duquel le rattrapage n'était pas possible. Cet angle limite d'inclinaison diminue chez la personne âgée, plus du fait de la diminution des capacités motrices (incapacité d'augmenter la vitesse d'exécution du pas) que de la diminution des afférences sensorielles.

D'une manière générale, l'allongement du temps de latence et des vitesses de conduction des nerfs, l'augmentation des raideurs musculaires, articulaires, allant jusqu'aux phénomènes arthrosiques patents et parfois massifs, font partie intégrante du vieillissement des effecteurs. Ils ont des conséquences directes sur les différents tests posturaux, les rendant parfois difficiles à effectuer et à interpréter. La modification tonique, alors attendue lors de la mise en place d'un stimulus postural, peut être cependant constatée par les variations significatives, mesurées ou observées, de plusieurs tests.

Chutes et personnes âgées

L'analyse de la chute des personnes âgées et des complications secondaires, de type fracture de siège divers, fait discuter depuis de nombreuses années sur l'implication d'un certain nombre de paramètres physiques qu'il convient de prendre en compte dans un programme de rééducation.

Les modifications de force, de stabilité et d'équilibre liées à l'âge sont bien connues ; on a pu ainsi préciser la diminution conjointe lors du vieillissement de la force du quadriceps, de la proprioception articulaire et des capacités posturales [54].

La comparaison de population de patients chuteurs et non chuteurs permet de mettre en avant un certain nombre de caractéristiques du patient à risque de chute. Certains paramètres relèvent de pathologies associées et de caractéristiques de l'environnement et ne seront pas discutés ici. Nous ne soulignerons que les paramètres intéressant le rattrapage de la stabilité et les facultés de rééducation.

Il existe dans la phase initiale du déséquilibre une période critique de mise en jeu des réactions destinées à éviter la chute. Ces réactions ont pour but de freiner la chute du centre de gravité [52]. Elles peuvent être mises en défaut chez la personne âgée par plusieurs facteurs :

- défaut de perception du déséquilibre du fait du vieillissement ou d'une lésion des récepteurs périphériques (visuels, vestibulaires, proprioceptifs et cutanés). La diminution de la vision est associée de façon directe à une majoration du risque de chutes ;
- retard de déclenchement des activités réflexes par augmentation des latences nerveuses (neuropathie, compression des voies nerveuses intra-rachidiennes) ;

- augmentation des délais de traitement du signal : le vieillissement se traduit par une augmentation des temps de réaction aux ordres simples et surtout complexes ou successifs ;
- impossibilité d'assurer plusieurs tâches simultanément : les tests de charge mentale augmentent chez le sujet âgé les temps de réactions élémentaires ;
- déficit moteur au niveau des muscles effecteurs :
 - muscles des membres inférieurs qui interviennent dans les réactions d'équilibration, tels que le quadriceps et le tibial antérieur ;
 - muscles des membres supérieurs, tels que les triceps, qui interviennent dans la protection lors de la chute.

Les capacités d'entretien des fonctions de stabilisation et d'équilibration et de la force musculaire sont préservées chez les personnes âgées, ce qui présage de la possibilité d'améliorer ces performances. Les études épidémiologiques ont montré l'intérêt d'un exercice régulier sur la diminution du risque de chute, indépendamment du rôle de l'exercice sur la prévention de l'ostéoporose.

D'une façon générale, comme l'a montré une méta-analyse des études faisant appel à la prise en charge des patients chuteurs [57], toutes les prises en charge incluant exercices et travail de l'équilibre entraînent une diminution du risque de chute.

Évaluation du sujet âgé chuteur

L'examen du sujet âgé chuteur doit se concevoir comme une enquête policière à la méthodologie rigoureuse.

Les paramètres susceptibles de favoriser les chutes sont de trois ordres :

- les altérations des capacités posturales et locomotrices ;
- les pathologies associées et leurs traitements ;
- les paramètres écologiques qui caractérisent l'environnement du sujet.

La caractérisation du sujet chuteur devra donc s'appliquer à étudier chacun de ces aspects.

Évaluation clinique

L'examen clinique doit comprendre trois étapes.

L'examen neuro-orthopédique à la recherche de lésions organiques

L'examen neuro-orthopédique à la recherche de lésions organiques permet d'orienter vers une pathologie précise : en l'absence de pathologie neurologique connue, on recherchera de façon systématique des signes de pathologie débutive, qu'il s'agisse d'une maladie de Parkinson [58], d'une neuropathie [59], d'un syndrome cérébelleux [60] ou pyramidal [61]. On en recherchera les conséquences éventuelles qui feront le lien avec le risque de chute : débuts de rétraction des tendons d'Achille, griffe des orteils avec conflits plantaires ou dorsaux conduisant de fait à une exclusion fonctionnelle de l'avant-pied...

L'examen des capacités de stabilisation et d'équilibration

L'examen des capacités de stabilisation et d'équilibration comporte plusieurs étapes : l'équilibre non perturbé peut être étudié en évaluant les capacités de maintien en appui bipodal (yeux ouverts puis fermés) et en tandem (un pied devant l'autre) qui réduit considérablement la base de sustentation. Dès la cinquantaine, le test d'antépulsion passive permet d'observer un changement de stratégie de stabilisation (voir chapitre 8.6). Le temps d'appui unipodal précise les performances de la stabilité et estime le risque de chute (voir chapitre 8.7). L'association de ces deux derniers tests permet de créer des sous-groupes en fonction de la stratégie de pied ou de hanche et de la durée d'appui unipodal selon que le pied est moteur ou pilier et d'orienter le traitement.

Les limites de l'équilibre

Les limites de l'équilibre sont appréciées par le *Functional Reach Test* de Duncan [62] et la réponse au déséquilibre par le test de Wolfson [63]. Des tests plus élaborés peuvent être proposés pour approfondir ces capacités d'équilibration : le test de Tinetti chez la personne âgée [64] ou le test de Berg [65] en pathologie neurologique.

Le *Functional Reach Test*, le test de Tinetti et le *Get up and Go* [66] ont fait l'objet de nombreuses études mettant en évidence leur intérêt dans l'évaluation de sujets chuteurs. La difficulté de l'interprétation des résultats tient à la caractérisation de la population étudiée, les personnes âgées les plus performantes n'offrant pas de différences de comportement notable vis-à-vis d'une population plus jeune.

L'examen clinique général à la recherche d'une pathologie évolutive

L'examen clinique général à la recherche d'une pathologie évolutive dont le trouble de l'équilibre peut être révélateur : pathologie cardio-vasculaire, visuelle ou ORL. On fera préciser également la nature des médicaments consommés ; certains, comme les antihypertenseurs ou les neurotropes, pouvant favoriser les chutes [67].

Évaluation instrumentale

La littérature est riche en études mettant en avant l'intérêt de tel ou tel dispositif d'analyse de l'équilibre. Trois niveaux d'analyse doivent être soulignés :

- les études qui caractérisent le vieillissement du contrôle de l'équilibre, en comparant sujets jeunes et âgés ;
- les études comparant sujets âgés chuteurs et non chuteurs ;
- enfin, les études prospectives permettant de dépister les sujets à risque de chute dans une population de sujets non chuteurs.

Le vieillissement de l'équilibration se traduit par une augmentation de la surface du stabilogramme en comparant deux populations d'âge différent [68]. Cependant, la sélection de patients indemnes de toute pathologie ne permet pas

de retenir de critères précis au niveau de la stabilométrie statique. Les épreuves dynamiques restent plus informatives, mettant en évidence une diminution des performances de réaction au déséquilibre avec l'âge.

Les études prospectives concernant les paramètres de stabilométrie et le risque de chute [69] ont montré que les populations de sujets multi-chuteurs présentaient de plus grandes valeurs de déplacement du centre des pressions en conditions d'appui bipodal sur mousse ou les yeux fermés. La valeur mesurée en conditions « yeux ouverts et sol dur » n'avait aucune valeur prédictive. Overstall a montré que seules les chutes liées à un facteur intrinsèque (vertige, instabilité, rotation de la tête...) trouvaient une signature posturographique, alors que celles déclenchées par un facteur extérieur (faux pas) ne l'étaient pas [70].

La valeur informative des données stabilométriques a été particulièrement étudiée à partir de l'étude des corrélations entre les paramètres de stabilométrie statique et les performances de réaction à la chute [71]. Cet auteur a montré que les trois différents protocoles d'évaluation de la chute conduisaient à des résultats non concordants chez un même patient et n'étaient pas corrélés aux données de la posturographie statique. De façon intéressante, le seul paramètre prédictif du résultat du rattrapage de l'équilibre était la capacité d'inclinaison antérieure, ce qui valide instrumentalement la valeur prédictive du *Functional Reach Test*.

Traitement

Dans le cas de pathologies lésionnelles (voir chapitre 14.3) liées au vieillissement, en plus de tous les traitements classiques utilisés par la gériatrie, il faudra rechercher et traiter les dysfonctions en rapport avec chacune des entrées du SPA.

Le traitement de la sole plantaire (voir chapitre 14.2), les étirements musculo-articulaires et le traitement de l'intégration des afférences du SPA, par le plateau de rééducation postural (voir chapitre 14.4), même si les deux derniers n'ont pas été validés, semblent donner, pendant un temps au moins, de bons résultats.

Dans tous les cas, il convient de s'assurer, comme chez le sujet plus jeune, de l'efficacité de la prise en charge posturale par des tests pertinents. Le vieillissement des entrées posturales, les troubles trophiques et les comorbidités réduisent, quand ils s'associent, les capacités de compensation qui sont une des caractéristiques de la posturologie clinique.

Conclusion

Posture et équilibre sollicitent une partie importante de la musculature axiale et périphérique et font appel à une régulation complexe du système nerveux. Les techniques modernes d'évaluation du mouvement permettent de mieux caractériser les déficiences impliquées dans les troubles de l'équilibre et de la marche et de baser les stratégies de rééducation sur des bases cohérentes.

La place de ces explorations dans la prise en charge des patients au quotidien reste cependant controversée dans la mesure où elles n'ont pas prouvé leur supériorité par rapport aux tests cliniques dans la prédiction du risque de chute.

C'est à ce défi que devront se mesurer les nouvelles techniques d'évaluation de l'équilibre, basées soit sur de nouvelles technologies, soit sur des analyses différentes du signal stabilométrique, grâce à l'approche de cliniciens qui privilégient l'observation clinique, « le bon sens » et la simplicité tout en testant les différents matériels existants.

Bibliographie

L'évolution de la posture de 8 à 21 ans, le sport et la cognition

1. Bourgeois P. Relations entre l'activité oculomotrice et nculaire automatique et la réalisation d'une tâche motrice volontaire. Mise en place d'un registre de « perturbations techniques posturales » dans des populations d'enfants et d'étudiants STAPS. Paris X Nanterre: Thèse de doctorat en STAPS; 1988.
2. Bourgeois P. Éducation physique et sportive et étiologie posturale. 2^e séminaire de posturologie clinique. Nantes; 1996.
3. Bourgeois P. Étiologie posturale et échec scolaire. In: Lacour M, editor. *Posture et environnement*. Montpellier: Sauramps médical; 1997. p. 63–73.
4. Bourgeois P. Étiologie posturale et échec scolaire en fin d'étude secondaire. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre*. Montpellier: Sauramps médical; 1998. p. 59–70.
5. Bourgeois P. La lecture : différence de stratégie d'apprentissage chez les adolescents perturbés par une étiologie posturale. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre. Entrées sensorielles. Méthodes d'exploration et applications*. Montpellier: Sauramps médical; 1999. p. 155–68.
6. Bourgeois P, Masset JB. La normalité chez l'enfant de 8-9 ans est-elle « l'anormalité posturale » ? 7^e journée de Posturologie. Italie: Modena; 2000.
7. Bourgeois P. Interrelations entre les problèmes de posture et les apprentissages scolaires fondamentaux de la lecture et du français chez l'élève de CE2. IX^e congrès international de l'association des chercheurs en activités physiques et sportives. Valence; 2001. Nov. 2001.
8. Bourgeois P. Éducation physique, sport et posture. In: Mesure S, Lamendin H, editors. *Posture, pratique sportive et rééducation*. Masson; 2001. p. 75–91. coll. Médecine du sport.
9. Bourgeois P. (2001). Relationships between postural control and higher cognitive functions. 69^e congrès international de physiologie. Montpellier, The European journal of physiology.
10. Bourgeois P. Évolution clinique de la posture de l'enfant de 8 à 10 ans. In: Dupui P, Montoya R, Lacour M. *Posture et équilibre. Physiologie, techniques, pathologies*. Solal: Marseille; 2003.
11. Bourgeois P, Ouaknine M. Normes et évolutions stabilométriques à partir de la plate-forme 40/16 des paramètres standards et séparés de chaque pied des enfants de 8 à 10 ans. 8^e journée de Posturologie. Toulouse; 2001.
12. Bourgeois P, Ouaknine M. Études stabilométriques à partir de la plate-forme 40/16. Paramètres standards et séparés de chaque pied des enfants de 8-9 ans. Pied pilier-Pied moteur et apprentissage cognitif. In: Dupui P, Montoya R, Lacour M. *Posture et équilibre. Physiologie, techniques, pathologies*. Solal: Marseille; 2003.
13. Bourgeois P. (2002). Éducation physique et sportive et problèmes de posture. In *La modélisation de l'espace*, Revue n° 30 spécial : « Les cahiers de la Maison de la Recherche en Sciences Humaines », éd. Presse univ. de Caen.

14. Lacour M. *Contrôle postural pathologies et traitements, innovations et rééducation*. Solal: Marseille; 2002. p. 47-62.
15. Bourgeois P. Dissymétrie en Brasse et problèmes de posture. 9^e symposium mondial de biomécanique et médecine de la natation. Saint-Étienne; 2002.
16. Bourgeois P. Difficultés de posture et difficultés scolaires. Les actes de lecture N° 79 09/2002. *Revue de l'association française de lecture* 2002;41-50.
17. Bourgeois P. Évolution clinique de la posture de l'enfant de 8 à 18 ans. 9^e journée internationale de Posturologie. Bruxelles; 2002. Déc. 2002.
18. Bourgeois P. Évolution du système d'équilibration de l'enfant et de l'adolescent de 8 à 18 ans. 9^e journée de Posturologie. Bruxelles; 2002. Déc. 2002.
19. Bourgeois P, Thellier V. Facteurs sociaux. Problèmes posturaux : Quelles influences sur la réussite scolaire de 1015 élèves de 11 à 21 ans ? 9^e journée internationale de Posturologie. Bruxelles; 2002.
20. Bourgeois P. Évolution clinique de la posture de l'enfant de 8 à 10 ans. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre. Physiologie, Techniques, Pathologie*. Solal: Marseille; 2003. p. 143-50.
21. Bourgeois P, Ouaknine M. Normes et évolutions stabilométriques à partir de la plateforme 40/16 des paramètres standards et séparés de chaque pied des enfants de 8 à 10 ans. In: Lacour M. *Posture et équilibre. Physiologie, Techniques, Pathologie*. Solal: Marseille; 2003. p. 91-100.
22. Bourgeois P. Évolution du système d'équilibration, notamment des réflexes nucaux de l'enfant et de l'adolescent de 8 à 18 ans. X^e congrès international de l'association des chercheurs en activités physiques et sportives. Toulouse; 2003. p. 372-373.
23. Bourgeois P, Lecocq G. Posture, équilibre et réussite scolaire. Facteurs sociaux, facteurs affectifs, facteurs cliniques et facteurs cognitifs chez les enfants de 9 à 11 ans. Paris: Rapport Dossier Unapec; 2004.
24. Bourgeois P, Lecocq G. L'effet optimal de l'inclinaison des tables ergonomiques est-il le même pour tous ? *Clinical Neurophysiology*. Masson, Vol. 40/5 ; Nov.-Déc. 2010 Nanterre. 313-314.
25. Assaiante C. Stratégies d'équilibre : Maturation et adaptation au cours de l'enfance. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre. Sauramps médical*. Montpellier; 1999. p. 79-90.
26. Berthoz A, et al. Le cerveau et le mouvement. Comment nos gestes construisent notre pensée. *Rev. Sciences et vie* Hors-série 1998;204:157.
27. Amblard B, Berthoz A, Clarac F. *Posture and Gait: Development, Adaptation and evolution*. Amsterdam: Elsevier; 1989.
28. Ryan. Relative academic achievement and stabilometer performance. *Research quarterly* 1963;34:184-90.
29. Singer RN. Interrelationship of physical, perceptual-motor and academic variables in elementary school children. *Perc. & motor skills* 1968;27:1323-32.
30. Kohen-Raz R. Learning disabilities and postural control. London, England: By Freund publishing house, Ltd; 1986.
31. Zazzo B. *Un grand passage de l'école maternelle à l'école élémentaire*. Paris: PUF; 1978.
32. Ghelfi P. Zusammenhang zwischen dem quasistatistischen Gleichgewichtsverhalten und schulischen Leistungen in verschiedenen Fächergruppen. Zurich: Swiss Institute for technology (ETH), Department of Biomechanics; 1975. Unpublished diploma thesis.
33. Da Cunha HM. Le syndrome de déficience posturale (SDP). *Agressologie* 1987;28: 941-3.
34. Quercia P, Robichon F, Alves Da Silva O. Dyslexie de développement et proprioception. Approche clinique et thérapeutique. *Ophtalmologie et Posturologie*. Ed. Beaune: Association graine de lecteur; 2005.
35. Normes 85. (1985). Éditées par l'Association pour le développement et l'application de la posturologie.(ADAP).

36. Ouaknine M, Bourgeois P. Analyse de quelques asymétries de la posture orthostatique à l'aide de sabots de posture dynamométriques. Congrès de podologie. Paris: Pied équilibré et traitements posturaux; 2002.
37. Fukuda T. On human dynamic postures. *Agressologie* 1978;20(B):99-104.
38. Mesure S, Lamendin H. (2001). *Posture, pratique sportive et rééducation*. Coll. Médecine du sport. Masson, Paris, 146 p.
39. Bourgeois P. (2011). Tester les asymétries posturales induites en natation lors de la respiration en nage libre. ACAPS Nov. 2011.
40. Bourgeois P, Rossato M et Ouaknine M. (2011). Normes statiques et dynamiques. *European « atelier » on posture and stabilometry*. Marseille 25-26 juin 2011.
41. Fabre JF. Participation de l'activité tonique posturale à la genèse de certaines attitudes scoliotiques. Paris X Nanterre: Thèse de doctorat es sciences; 1988.

Le vieillissement du contrôle postural.

42. Amblard B. Les descripteurs du contrôle postural. *Ann. Réadaptation Méd. Phys.* 1998;41:225-37.
43. Massion J. Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progr. Neurobiol.* 1992;38:35-56.
44. Fitzpatrick, McCloskey. Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans. *J. Physiol.* 1994;478(1):173-86.
45. Kapoula Z, Lê TT. L'effet de la distance sur le quotient de Romberg, Contrôle postural et représentations spatiales. In: Borel L, Lacour M, editors. *De la neurobiologie à la clinique*. Solal: Marseille; 2007. p. 193-202.
46. Gagey PM, Weber B. *Posturologie, Régulation et dérèglements de la station debout*. Paris: Masson; 1995. 145p.
47. Tropp H, Ekstrand J, Gillquist J. Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1984;16:64-6.
48. Bohannon R, Larkin PA, Cook AC, Gear L, Singer J. Decrease in timed balance test score with ageing. *Phys. Ther.* 1984;64:1067-70.
49. Vellas BJ, Wayne S, Romero L, Baumgartner RN, Rubenstein LZ, Garry PJ. One leg balance is an important predictor of injurious fall in older persons. *J. Am. Geriatr. Soc.* 1997;45:735-8.
50. Schieppati M, Hugon M, Grasso M, Nardone A, Galante M. The limits of equilibrium in young and elderly normal subjects and in Parkinsonians. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 1994;93:286-98.
51. Horak F, Henry SM, Schumway-Cook A. Postural perturbations: new insights for treatment of balance disorders. *Phys. Therap.* 1997;77(5):533.
52. Do MC, Breniere Y, Brenguier P. A biomechanical study of balance recovery during the fall forward. *J. Biomechanics* 1982;16:1-7.
53. Van den Kroonenberg AJ, Hayes WC, McMahon TA. Hip impact velocities and body configurations for voluntary falls from standing height. *J. Biomech.* 1996;29(6):807-11.
54. Hurley MV, Rees J, Newham DJ. Quadriceps function, proprioceptive acuity and functional performance in healthy young, middle-aged and elderly subjects. Age and ageing 1998;27:55-62.
55. Straube A, Botzel K, Hawken M, Paulus W, Brandt T. Postural control in the elderly: differential effect of visual, vestibular and somatosensory inputs. In: Amblard B, Berthoz A, Clarac F, editors. *Posture and gait : development, adaptation and modulation*. Elsevier; 1988. p. 105-14.
56. Thelen DG, Wojcik LA, Schultz AB, Ashton-Miller JA, Alexander NB. Age differences using a rapid step to regain balance during a forward fall. *J. Gerontol.* 1997;52(1): M8-M13.
57. Province MA, Hadley EC, Hornbrook, et al. The effects of exercise on falls in elderly patients. *J.A.M.A.* 1995;273:1341-7.

58. Smithson F, Morrise ME, Iansek R. Performance on clinical tests of balance in Parkinson's disease. *Phys. Ther.* 1998;6:577-92.
59. Missaoui B, Thoumie P. Balance training in ataxic neuropathies. Effects on balance and gait parameters. *Gait Posture.* 2013 Jul;38(3):471-6.
60. Winstein CJ, Gardner ER, McNeal DR, Barto PS, Nicholson DE. Standing balance training: effects on balance and locomotion in hemiparetic adults. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 1989;70:755-62.
61. Dichgans J, Mauritz KH, Allum JHJ, Brandt T. Postural sway in normal and ataxic patients. *Agressologie* 1976;17C:15-24.
62. Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S. Functional reach: a new clinical measure of balance. *J. Gerontol.* Nov 1990;45(6):M192-197.
63. Wolfson LI, Whipple R, Amerman P, Kleinberg A. Stressing the postural response. A quantitative method for testing balance. *J Am Geriatr Soc.* Dec 1986;34(12):845-50.
64. Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF. Risk factor for falls among elderly in the community. *N Engl. J Med.* 1988;319:1701-7.
65. Berg KQ, Wood-Dauphinee SL, Williams JI. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Can J Public Health* 1992;83(Suppl 2):S7-11.
66. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go" : a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991;39:142-8.
67. SFDMRG, HAS, *Prévention des chutes accidentelles chez la personne âgée.* Recommandations 2005.
68. Ickenstein GW, Ambach H, Klöditz A, Koch H, Isenmann S, Reichmann H, Ziemssen T. Static posturography in aging and Parkinson's disease. *Front Aging Neurosci.* 2012 Aug 6;4:20. doi: 10.3389/fnagi.2012.00020. eCollection 2012.
69. Lord SR, Sambrook PN, Gilbert C, et al. Postural stability, falls and fractures in the elderly: results from the Dubbo Osteoporosis Epidemiology Study. *Med J Aust.* 1994 Jun 6;160(11):684-5. 688-91.
70. Overstall PW, Exton-Smith AN, Imms FJ, Johnson AL. Falls in the elderly related to postural imbalance. *Br Med J.* 1977 Jan 29;1(6056):261-4.
71. Owings TM, Pavol MJ, Foley KT, Grabiner MD. Measures of postural stability are not predictors of recovery from large postural disturbances in healthy older adults. *J Am Geriatr Soc.* 2000 Jan;48(1):42-50.

CONCLUSION ET REMERCIEMENTS

Conclusion

Alain Scheibel, Pierre Marie Gagey

Parvenu au terme de ce livre, le lecteur peut maintenant comprendre ce que nous en disons : ce livre exprime fidèlement la passion de Bernard Weber pour la modernité. Car c'est lui, Bernard Weber, qui a imaginé ce livre, dressé son plan, recruté ses auteurs, rassemblé les brouillons..., avant de nous quitter. Alain Scheibel, Philippe Villeneuve, Françoise Zamfirescu et Pierre Marie Gagey n'ont fait que travailler la dernière mise en forme pour que ce livre puisse sortir des presses, comme un hommage, un témoignage de gratitude à l'égard de celui dont nous avons tant reçu, à commencer par cette passion de la modernité !

La modernité... Il faut qu'on s'en explique. Elle représente, pour nous, cette fine pointe de l'avancée historique de l'esprit, cet intervalle subtil et frémissant qui se situe entre l'inconnu et le connu, entre le non-être et l'être, où s'élaborent découverte et création. En ce sens, c'est une modernité qui n'est pas astreinte à des dates historiques, elle est de tous les temps. Lorsqu'Anaximandre de Millet, au VI^e siècle avant Jésus-Christ, a découvert que la terre était ronde comme une sphère, il était à la fine pointe de l'avancée de l'esprit, en pleine modernité, pour son temps. Cette modernité de tous les temps et de toutes les époques ne fait pas fi du poids de l'histoire dans la construction de l'esprit ; elle souligne au contraire que l'esprit n'est rien d'autre que cette dynamique de construction dont nous utilisons les acquisitions passées pour construire plus haut, plus grand, toujours dans l'esprit.

Cette fine pointe de l'avancée historique de l'esprit, Bernard Weber avait le don de la « flairer » dans les propos des uns et des autres. Professionnels, au contact quotidien de la souffrance des hommes, les mains dans le cambouis plutôt que dans les livres, nous ne pouvions pas ne pas avoir notre petite idée sur les problèmes qui se posent. Et quand par hasard nous en touchions un mot à Bernard, lui, qui a travaillé si longtemps avec Henri Laborit, savait discerner si « notre petite idée » portait en elle une hypothèse plausible. Dès lors, il ne nous laissait plus en paix ! Comprenez... Une hypothèse, même plausible, n'a aucun intérêt. Tout le monde peut en faire, à longueur de journée, et ne plus y penser la minute suivante. Pour qu'une hypothèse prenne de la consistance, il est impératif qu'elle soit prise au sérieux, au point d'être prise en charge, qu'on lui consacre son temps et ses forces, c'est-à-dire qu'on y croit. Il n'y a pas de découverte scientifique sans, à la base, une croyance, un instant où l'on sait parfaitement que l'on n'a pas le droit de dire : « Je sais », mais où par contre, par une suite de différentes intuitions pas toujours dotées d'une grande valeur

scientifique, on perçoit qu'il doit y avoir quelque chose d'intéressant à fouiller dans cette direction-là. Oui, mais pour se lancer dans cette direction-là..., il faut y croire ! Or, nos hypothèses, nos intuitions, nos « petites idées », à moins d'être un peu « parano », nous avons plutôt tendance à nous en méfier. Et c'est précisément à ce moment logique que Bernard intervenait, non seulement pour nous donner confiance en cette hypothèse qu'il avait jugée plausible, mais surtout pour nous harceler jusqu'à ce que nous nous mettions à la travailler avec rigueur. Car la foi ne suffit pas à transformer une hypothèse, il y faut aussi la critique rationnelle. La foi et la raison sont les deux mamelles de cet instant merveilleux qu'est la découverte scientifique, à la fine pointe de l'avancée historique de l'esprit, le cœur de la modernité.

Pour écrire ce livre, Bernard Weber a donc convoqué tous ceux qui avaient accepté de prendre au sérieux leurs hypothèses, inscrites bien sûr dans cette dynamique prodigieuse de la posturologie, pour venir en dire où ils en étaient de leurs critiques.

Là, nous devons nous arrêter un instant et dire notre admiration à l'équipe de rédaction de l'éditeur Elsevier Masson pour avoir accepté de publier un livre qui n'est pas exactement dans le droit fil de la mode du jour ! Le lecteur aura pu s'en rendre compte, ce livre n'est pas un « manuel » d'une médecine fondée sur des preuves. Chaque chapitre, écrit sous la responsabilité de son auteur, n'aboutit pas toujours à un énoncé juste ! On reste dans le devenir de quelque chose en train de se construire entre l'inconnu et le connu. C'est la limite inhérente au pari d'une médecine de la modernité qui se dresse contre le parti d'affirmer que : « seul ce qui est prouvé doit être utilisé ». Ce parti serait acceptable si « ce qui est prouvé » permettait de satisfaire tous les patients ! Ce qui est loin d'être le cas... Les professions médicales doivent accepter ce regard critique sur elles-mêmes et, par conséquent, faire place à la dynamique de l'esprit, même si parfois elle traîne un peu dans les espaces de la croyance.

Tout le monde peut deviner les risques d'une médecine de la modernité, inutile de les énumérer. Il n'est pas inutile, par contre, de terminer par un appel aux partisans de cette médecine, un appel à la vigilance, au respect de la règle d'or d'Hippocrate : « *Primum non nocere* ».

Remerciements

Françoise Zamfirescu

Dr Pierre Marie Gagey

Créateur de l'Association française de posturologie clinique en 1978, dont j'ai été la secrétaire.

À l'époque, j'ai assuré la diffusion de sa revue *Critique de la posturologie*. PMG a été formateur dans une approche interdisciplinaire. Il a créé l'Institut de posturologie, dans le but de réaliser les bilans cliniques posturaux de patients adressés par des confrères de différentes spécialités.

Grâce à sa curiosité fondamentale, son sens de l'esthétique, de la perfection, il a élaboré et proposé les normes « latines » des explorations instrumentales et des tests cliniques du système postural d'aplomb ; il nous en fait généreusement le don. Son regard, ses commentaires pertinents, son esprit de synthèse dans la relecture des textes retenus, nous ont été précieux ; nous l'en remercions chaleureusement.

Pr Laurent Laroche

Nous tenons à remercier le professeur Laurent Laroche, chef de service d'ophtalmologie au CHNO des Quinze-Vingts. Depuis l'année 2000, il est cofondateur et coresponsable, avec le professeur Philippe Thoumie, du Séminaire parisien du diplôme inter-universitaire (DIU) de posturologie clinique à l'UPMC (Paris 6). J'ai l'honneur d'en assurer la coordination. Paris 6 est en relation avec les universités de Marseille, Toulouse et Grenoble pour cet enseignement et les travaux pratiques en ateliers.

Cette approche multidisciplinaire a permis de prendre en considération des plaintes récurrentes dites « subjectives ». Les examens cliniques et les explorations posturales ont objectivé des dysfonctionnements du système postural. La mise en commun de ces observations cliniques amène à l'élaboration d'un projet thérapeutique hiérarchisé et une prise en charge efficace des patients, en respectant les compétences spécifiques de chaque clinicien impliqué.

Pr Philippe Thoumie

Responsable de la formation parisienne du DIU de posturologie clinique, Philippe Thoumie coordonne au niveau national le programme des contributions des quatre universités impliquées. Dans une volonté d'offrir à la « posturologie clinique » le cadre universitaire de la Faculté de médecine (UPMC Paris 6), il y propose une approche plus scientifique des connaissances et des pratiques empiriques des cliniciens, en défenseur d'une conception globale de l'être humain, comme une entité singulière. Dans son service de rééducation neuro-orthopédique, toutes les nouvelles techniques de rééducation et d'évaluation sont expérimentées. Il profite de son expérience, avec la sagesse et le bon sens que donne tout savoir acquis auprès des patients. Ceux-ci sont pris en charge dans un processus de dépassement, de récupération ou de « faire avec » tout dysfonctionnement neurophysiologique. Son objectif consiste à établir une approche neurologique causale prenant en compte le caractère fonctionnel du modèle cybernétique. Écouter les mots des patients qui décrivent leurs maux complète l'observation clinique. Leurs symptômes ne sont qu'une sortie du système, une réponse à une stimulation interne ou externe, dans une conception systémique de l'être humain.

Alain Scheibel

Membre du groupe de cliniciens rassemblés autour de Bernard Weber, Alain Scheibel a repris le projet de livre conçu par ce dernier. Bernard Weber encourageait l'équipe à publier le fruit de leur travail clinique selon une méthodologie

expérimentale rigoureuse. Avec patience, pugnacité, perfectionnisme, il a repris mot à mot, image par image, chaque contribution de ce guide pour tenter de respecter le souhait de rigueur scientifique voulu par Bernard. Nous ne pouvons que le remercier pour son implication, sa constance dans la finalisation de ce guide de posturologie clinique.

Philippe Villeneuve

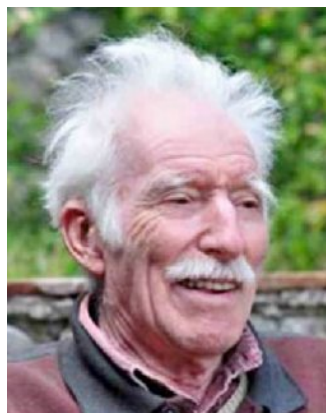
Proche de Bernard Weber dans la réalisation de l'API dont il fut le vice-président.

En plus des liens de respect et d'amitié, leur rencontre se fit autour de l'aspect rédactionnel dans lequel Bernard excellait avec pour but constant la mise en place d'une méthodologie clinique « armée ». Avec la publication des comptes rendus des réunions internationales de l'Association de posturologie internationale (API), il a participé à une prise de conscience de la promotion permanente de cette nouvelle discipline que constitue la posturologie.

Madame Denise Weber et ses enfants

Nos remerciements se tournent vers Madame Denise Weber et ses enfants, présents lors de l'hommage rendu à Bernard Weber. La réunion s'est tenue le mercredi 15 janvier 2014 au CHNO des Quinze-Vingts. Ses amis chercheurs ont relaté quelques récits de sa vie. Bernard était surnommé par les siens « Docteur Synthol, quel bobo ne soigne-t-il pas ! » Il fut l'adjoint du Dr Henri Laborit jusqu'en 1983. Sa contribution aux travaux pharmacologiques de Monsieur Laborit, dans son laboratoire de l'hôpital Boucicaud, sur les phénothiazines et les neuroleptiques, lui permit de participer à la grande révolution de l'anesthésie qu'il pratiqua à l'hôpital Lariboisière. Simultanément, il assura la direction de la revue *Agressologie* chez Masson de 1958 à 1992. Son côté globe-trotter, avec sa participation aux expéditions africaines comme membre fidèle et actif de l'Association UNISAHEL, lui valut le surnom de « Docteur Spiruline » à la recherche de produits pharmacologiques naturels.

Merci à Madame Weber et ses enfants d'avoir permis la transmission de la conception de la posturologie clinique de Bernard Weber, à qui nous devons tant.



ANNEXES

Sont présentées en annexes les différentes valeurs de référence à notre disposition pour le moment. Ces valeurs, pour la plupart, ont été calculées sur de petits échantillons. À chacun de les utiliser avec les précautions qui s'imposent.

Angle tibio-tarsien

	Angle TT G	Angle TT D
Moyenne	3,77	3,69
É type	2,01	2,20
Variance	4,02	4,83
1,96 É type	3,93	4,31
Lim. inf.	-0,16	-0,61
Lim. sup.	7,70	8,00

À retenir 4 ± 4°

Fukuda

Tête en position neutre		0 ± 30°
Gains	Droit ou Gauche	≤ ± 50°
Prévalence	Droite ou Gauche	≤ 50°

Stabilométrie

Normes 85 adultes							
Yeux ouverts	Min.	Moy.	Max.	Yeux fermés	Min.	Moy.	Max.
Surface	39	91	240	Surface	79	225	638
X moy.	-10	1	12	X moy.	-10	0	11
Y moy.	-57	-29	-1	Y moy.	-51	-27	-3
LFS	0,72	1	1,39	LFS	0,7	1	1,44
VFY	-2,61	0	3,59	VFY	-4,73	0	4,86
ANO2 x	0	11,39	18,54	ANO2 x	0	16,57	26,98

Yeux ouverts	Min.	Moy.	Max.	Yeux fermés	Min.	Moy.	Max.
ANO2 y	0	8,37	13,23	ANO2 y	0	14,65	22,63
ANO3 x	0	14,34	43,51	ANO3 x	0	17,98	44,63
ANO3 y	0	11,71	40,27	ANO3 y	0	14,69	42,91
				Romberg	112	288	677

Valgus de l'arrière-pied

	Valgus G	Valgus D
Moyenne	4,96	4,92
É type	1,51	1,33
Variance	2,29	1,76
1,96 É type	2,96	2,60
Lim. inf.	2,00	2,32
Lim. sup.	7,93	7,53

À retenir : 5 ± 3°

Nage avec palmes

La déviation à retenir est de : 7,5 m ± 6 m à gauche ou à droite de la ligne idéale de trajectoire.

Trois roulades avant

Résultats moyens des déviations lors de la roulade avant en fonction de l'âge (en cm).

Nombre de sujets	Âge	Moyenne	É type	Lim. sup. 90 %
74	11	17,3	15,2	42,3
160	12	15,1	14,6	39,2
163	13	13,4	11,8	32,8
113	14	17,9	18,5	48,3
101	15	18,3	17,9	47,7
64	16	18,8	14,1	41,9
60	17 et +	18,5	9,7	34,4
735	Tous	15,6	15,7	41,4

Verticale de Barré

Deux séries de valeurs sont présentées.

Les valeurs observées les yeux ouverts en C7 et L4.

8 ans ± 6 mois		C7	L4
		cm	cm
43 Filles	m	0,16	0,06
	σ	0,97	1,11
35 Garçons	m	-0,26	-0,42
	σ	0,99	0,95
78 F + G	m	-0,02	-0,15
	σ	1	1,07

Moyenne et écart standard de la verticale de Barré des 78 enfants retenus après exclusion du risque de première espèce. Il existe une différence significative ($p < 0,05$) sur la position moyenne, en L4, des garçons qui se situent plus à gauche ($-0,42 \pm 0,95$ cm) de la verticale que les filles mieux centrées ($0,06 \pm 1,11$ cm). À retenir 0 ± 2 cm

Les valeurs observées les yeux fermés de la déviation de C7.

Âge (ans)	Garçons				Filles			
	Nbre.	Moy.	Lim. inf.	Lim. sup.	Nbre.	Moy.	Lim. inf.	Lim. sup.
7 ± 6mois	20	0,1	-2,3	2,5	20	0,0	-2,7	2,6
8 ± 6mois	75	0,1	-2,3	2,5	72	0,0	-2,3	2,3
9 ± 6mois	83	-0,3	-2,6	2,1	63	-0,5	-2,9	1,8
10 ± 6mois	91	0,4	-2,7	3,4	62	0,1	-2,8	3,0
11 ± 6mois	61	0,0	-2,7	2,7	46	0,4	-2,8	3,5
12 ± 6mois	70	0,1	-2,2	2,5	77	-0,2	-2,5	2,1
13 ± 6mois	84	-0,1	-2,1	2,0	76	-0,1	-2,5	2,4
14 ± 6mois	44	0,3	-2,8	3,4	54	0,2	-2,9	3,2
15 ± 6mois	49	-0,1	-2,4	2,2	31	-0,4	-2,4	1,6
16 ± 6mois	51	-0,1	-2,8	2,6	51	-0,2	-2,8	2,5
17 ± 6mois	36	-0,3	-2,6	1,9	37	-0,1	-2,8	2,6
18 ± 6mois	29	0,1	-3,7	3,8	20	-0,3	-3,5	2,8

Déviation en centimètres de l'épineuse de C7 de la verticale de Barré. Un nombre positif signifie à droite de la verticale, un nombre négatif signifie à gauche.

GLOSSAIRE

A

Accommodation : adaptation de l'œil pour toutes distances par variations de la puissance optique du cristallin et du diamètre de la pupille.

Activité tonique posturale : voir tonus.

Ajustements posturaux : les ajustements posturaux procèdent de deux principes, la compensation et l'anticipation.

Les mécanismes de **compensation** et de **maintien**, *a posteriori*, mettent en jeu les boucles nerveuses de rétroaction déclenchées par les nombreuses informations fournies par les récepteurs sensoriels d'origine labyrinthique, visuelle, mandibulaire, articulaire, musculaire, cutanée, plantaire.

Les ajustements posturaux **anticipés** (APA), *a priori*, préparent l'organisme à toute perturbation déstabilisatrice à venir.

Posture et mouvement sont intégrés dans des processus de contrôle en boucles ouvertes ou fermées.

Amblyopie : faible valeur de l'acuité visuelle sans cause apparente.

Amblyopie posturale : expression impropre et provocatrice, choisie par le Dr. Claudie Marucchi, qui voulait attirer l'attention des ophtalmologistes sur les troubles posturaux chez tout strabique. La comparaison des enregistrements des performances Yeux fermés *versus* Yeux ouverts permettant le constat de la non-amélioration en situation Yeux ouverts, et parfois même l'altération qui impliquait la difficulté à tenir compte des informations visuelles non fiables pour le strabique dans le maintien de la posture d'aplomb. La valeur inférieure à 120 du quotient de Romberg signifiant une difficulté d'adaptation spatio-temporelle chez tout sujet présentant un trouble de l'oculomotricité.

Amétropie : trouble optique de la réfraction tel que la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme. (voir chapitre 10.2)

Analyse : selon le **mode de pensée** associant deux principes de fonctionnement :

Réalité- Représentation

Analyse par Analogie :

« Comme si » -Identité

Subjectif-Objectif

Perception-Action

Agent, sujet-Environnement

Inné-Acquis

Interne-Externe

Excitation-Inhibition

Tonique-Phasique

Généralisation-Discrimination (classification)

Anisométrie : inégalité de l'amétropie des deux yeux.

Antagonisme : action de deux forces opposées tendant à compenser ou annuler les effets de façon réciproque. Il sert à équilibrer et coordonner tout mouvement en régularité et amplitude.

Antagoniste se dit d'un muscle qui, parmi un groupe de muscles, participe à la réalisation d'un mouvement volontaire ou réflexe en exerçant une action opposée aux muscles agonistes.

Antagoniste-Synergique : un muscle oculaire peut être soit synergique, soit antagoniste d'un même muscle controlatéral suivant le mouvement en cause. Un muscle agoniste dans une direction s'oppose à son antagoniste homolatéral pour une action principale, et pour l'autre œil est agoniste et synergique du muscle qui va dans le même sens, dans la même direction.

Par exemple, l'oblique supérieur droit (grand oblique) est antagoniste homolatéral du petit oblique droit pour l'abaissement de l'œil droit, synergique du droit inférieur gauche pour la direction du regard en bas à gauche (lévoversion inférieure) et synergique de l'oblique supérieur gauche dans le mouvement de convergence inférieure pour la lecture.

Aplomb (système postural d'aplomb) : notre choix sélectif d'une attitude épistémologique nous permet la déclinaison de l'étude clinique de notre capacité à tenir droit debout et le constat d'une physiologie de l'aplomb.

En prenant en compte une donnée physiologique essentielle telle que la chronologie des événements et phénomènes posturaux, liée à l'intégration sensorielle, ou l'effet « papillon » par exemple, nous sommes conscients que cette réduction biomécanique ne donne pas accès à une compréhension du système postural. D'après Pierre Marie Gagey : « Dans notre approche thérapeutique, nous intervenons sur le paramètre temps pour soigner en interposant prothèse plantaire, prisme par exemple, ainsi nous modifions le timing des sensations, sans prétendre que cette modification est à l'origine de la guérison, mais pouvons affirmer faire partie des premiers qui prennent en compte le temps dans l'espace neurologique. »

Astigmatisme : variations de la courbure de la cornée entraînant distorsion, anamorphose de l'image.

Asymétrie(s) posturale(s) : l'asymétrie caractérise l'homme debout, elle est physiologique. La tentation de correction de toutes les asymétries posturales n'est donc pas souhaitable, par exemple : l'asymétrie fonctionnelle, la latéralité gestuelle et l'asymétrie cérébrale s'avèrent nécessaires (voir chapitre 2.2.5).

Lors d'asymétrie tonique, les forces imprimées par les muscles ne sont plus conformes à la cinétique des articulations et engendrent à plus ou moins long terme, gêne, limitation de mouvement, puis douleur (voir chapitre 5.2).

Audition : le système de détection des sons, associé et développé en parallèle avec un système d'émission de sons, représente l'un des systèmes de communication inter-individuelle comprenant le langage.

Les vibrations sonores correspondent à des variations de la pression du milieu.

La localisation des sons dans l'espace contribue à l'orientation dans l'environnement. Une écoute binaurale précise et augmente cette capacité.

Axes antéropostérieur et latéro-médial : les axes des plates-formes ont été choisis sur la base référentielle d'un avion alors que les axes euclidiens médicaux x et y leurs sont perpendiculaires.

Axes de l'examen clinique statique :

Dans le plan frontal : axe bipupillaire, bitragal, biscapulaire, mamelonnaire, bi-illiaque, birotulien, bimalléolaire avec recherche d'une éventuelle bascule latérale scapulaire ou pelvienne.

Dans le plan sagittal, avec la verticale de Barré, les différentes flèches sont notées : flèche occipitale (norme de 0 à 2 cm), flèche cervicale (C3 de 4 à 6 cm), flèche lombaire (L3) de 4 cm, avec recherche d'une éventuelle rotation scapulaire ou pelvienne.

Au niveau des membres inférieurs : une rotation statique, un genu varum, un genu valgum, un recurvatum, un effondrement de la voûte plantaire, une éventuelle jambe courte en décubitus dorsal.

Axe sagittal du pied, angle tibio-tarsien, arches interne, externe et antérieure du pied : ces mesures confortent la conception de l'organisation du pied comme un trépied (voir chapitre 4.4), soit une structure à trois arches, et précèdent l'appréciation de l'axe corporel *via* l'angle tibio-tarsien et les défauts d'aplomb (voir chapitre 7.2).

B

Baron Jean-Bernard : cet ophtalmologiste, « l'un des membres fondateurs de l'International Society of Posturography, actuelle ISPGR, nous a quittés en 2011. Son travail se doit d'être rappelé, c'est le fondement essentiel de la posturologie clinique. Baron nous a enseigné que l'activité tonique posturale peut être immédiatement modifiée par manipulation. Une légère stimulation du système dynamique non linéaire qui contrôle le tonus postural de base modifie et transforme le comportement moteur » (Victor Gurfinkel et Pierre Marie Gagey).

Barré (verticale de Barré) : premier examen clinique postural, riche de par la stabilité des mesures dans le temps, véritable cartographie en trois dimensions, non examinateur dépendant.

La **verticale de Barré de dos**, ou verticale intermalléolaire, est observée chez un sujet debout sur un plateau horizontal, les pieds calés par une cale tangente aux talons, en dedans par une cale dessinant un angle de 30° ouvert en avant. Deux fils à plomb, devant et derrière le sujet définissent le plan vertical sagittal intermalléolaire, l'observateur notera la position du pli fessier, de l'épineuse de C7 et du vertex. La verticale de Barré de profil et les rotations des ceintures complètent les mesures (voir chapitre 7.1).

Berthoz Alain : professeur honoraire de la Chaire du Collège de France en Physiologie de l'Action et du mouvement.

Biomécanique de la station debout (système d'aplomb) : plusieurs éléments composent le système : **structure** (le squelette, les articulations), **effecteurs** (les muscles et transmissions nerveuses), **entrées** (vision, système vestibulaire, proprioception, entrée plantaire, etc.), **systèmes de commande** (système nerveux central, moelle épinière, attitudes et stratégies).

Bipédie : d'après Pierre Marie Gagey : « La bipédie libère la main, mais majore les problèmes du maintien de l'équilibre. »

Caractéristique humaine quant au port de tête, à une colonne vertébrale en S, un bassin ouvert et une voûte plantaire qui implique des capacités musculo-tendineuses spécifiques.

Le cerveau, organe de croissance extraordinaire de l'espèce humaine, est gros et lourd (1400 g), situé au sommet du corps. La libération des membres supérieurs signe une autre évolution humaine, soit le lien cerveau-main permettant le développement et la création des outils.

Debout, nos pieds vont participer au maintien de cette position, le squelette humain est un assemblage de pièces superposées des pieds à la tête. La station érigée nécessite le maintien en équilibre de ce « système de tiges articulées » par une contraction musculaire tonique dite « de posture » qui va rigidifier cette structure (voir chapitre 4.4).

C

Caractéristiques de l'information visuelle et posture orthostatique appréciée en stabilométrie : la stabilité enregistrée augmente, si la surface du champ visuel croît, si

l'acuité visuelle fovéale est optimale, si toutes les fréquences spatiales sont détectées, si la luminosité croît de l'obscurité au mésopique puis au photopique, si la distance du point de l'espace à fixer diminue.

Centre de gravité *versus* centre de pression : établir la différence fondamentale, niveaux d'observations cliniques fondamentalement différents.

Champ visuel : étendue de l'espace perçu par les deux yeux ouverts formant une ellipse de 185° horizontalement et 140° verticalement, sachant que la zone de vision précise ne concerne que les 10 degrés centraux.

Chaos : théorie statuant la non-proportionalité entre cause et effet. Une petite cause « comme le battement d'aile d'un papillon » peut générer un effet très important ou imprévisible à l'autre bout du monde.

Principe à toujours conserver à l'esprit, en démarche thérapeutique, un tout petit changement peut être bénéfique pour le patient, mais peut aussi créer des réactions imprévisibles sur d'autres modalités sensorielles. Effectivement, de petites variations des entrées sensorielles suffisent à modifier le tonus postural. En présence d'un système dynamique non linéaire, sachant que de petites variations produisent des effets importants, tel l'effet papillon, « un petit rien est capable de tout ».

Chute : indicateur de santé publique, signe d'alerte de dysfonctionnement chez le sujet au cours de sa croissance et du vieillissement. Selon Christine Assaiante : « l'enfant marche en chutant, la personne âgée chute en marchant ». Résultat surprenant et instructif de l'analyse des complications secondaires de la chute : le sujet qui résiste à la chute a un impact plus important que s'il se laisse tomber et accompagne la chute (voir chapitre 15.2).

Convergence : fonction oculomotrice active comportant plusieurs composantes.

Mouvement de convergence dynamique : activité réflexe, mouvement binoculaire disjoint, par rotation des deux yeux en dedans vers une « ésoposition » faisant croiser les deux axes visuels sur un point de l'espace qui se rapproche du sujet.

Composantes physiologiques de la convergence :

- **accommodative** : chaque unité sphérique (une dioptrie positive) produisant une unité angulaire de convergence (angle métrique), la mesure constitue le rapport convergence/accommodation (AC/A) ;
- **fusionnelle** : convergence déclenchée par la disparité des zones rétinienne stimulées sur chaque œil, pour éviter la diplopie et restituer la fusion binoculaire ;
- **tonique** : convergence liée au tonus des muscles oculomoteurs en l'absence de tout stimulus de fusion ou d'accommodations.

Coordimétrie de version, « Hess postural » : méthode d'enregistrement des variations de l'équilibre binoculaire dans les 9 positions diagnostiques du regard (voir chapitre 12.2).

Cristallin : lentille souple, biconvexe, transparente de l'œil, située entre l'iris en avant et le corps vitré en arrière. Ses variations de courbure ajustent la formation d'une image nette sur la rétine par le mécanisme d'accommodation.

Cybernétique : « la cybernétique est l'art d'assurer l'efficacité de l'action, une méthode de raisonnement "juste", et aussi une analyse de la structure concernée pouvant conduire à une modélisation. »

D

Da Cunha Henrique Martins : professeur de Médecine physique portugais (1928-2011). « Le lien qu'il avait établi entre toutes les dysfonctions du système postural d'aplomb et sa signification symbolique : les patients ont soit du mal, soit de la peine, à rester debout, et les échos de cette invalidité peuvent résonner très profondément dans leur psyché. Il appelait cela le "Syndrome de Déficience Posturale" (SDP) et

nous continuons à le faire... Son coup d'œil de clinicien était génial et il n'avait pas besoin de s'embarrasser de machines pour savoir ce dont souffraient ses patients... » (Dr. Pierre Marie Gagey). « À l'esprit mathématique de l'Europe du Nord, répondait une déclinaison philosophique et chaleureuse de l'Europe méditerranéenne. Il nous a apporté le renouveau dans la clinique médicale, une approche globale de l'individu dans sa statique et sa dynamique. Ce fut un concepteur, un utopiste » (Dr. Claudie Marucchi).

Dominance (voir latéralité) : dans la comparaison des deux moitiés du corps, de deux organes symétriques, on mentionne le processus de latéralisation, par exemple la prévalence de l'usage d'une **main** pour certaines tâches précises. L'œil dominant est l'œil préféré pour les tâches visuelles d'alignement, de visée ou monoculaire. L'œil directeur est l'œil prévalent au cours de la vision binoculaire.

Malgré l'analogie, la latéralité oculaire est de nature différente car la projection sur le cortex cérébral visuel se fait simultanément sur les deux hémisphères cérébraux.

Le pied dominant est aussi nommé pied d'appui.

Douleur : les sensations douloureuses sont la première plainte des patients et le signe d'appel à notre démarche clinique. Les stimulations nociceptives des récepteurs sensoriels superficiels, profonds ou viscéraux provoquent une sensation consciente particulière : la douleur.

Dynamique des systèmes : « étudier un ensemble en terme de **dynamique des systèmes** suppose que l'on raisonne en terme de différentiel de **temps**, **d'espace** et **d'état** et que l'on apprécie les variations. Ceci suppose bien entendu que l'on assigne une **finalité** à cet ensemble. Cette recherche de la compréhension de ces variations tant sur le plan qualitatif que quantitatif requiert un état d'esprit particulier qui, au-delà de la multi-disciplinarité qu'elle implique, requiert une vision trans-disciplinaire des choses qui par nature est anti-classificatoire et ne se réfère pas à une seule catégorie de connaissance. »

Par définition, « le système implique des éléments, des relations, et a comme finalité le maintien en vie des éléments et celui du système... Il caractérise le mouvement perpétuel de la vie... même et surtout quand il est vécu comme empêchant la vie elle-même ».

« Couramment associé à la notion de complexité, cela ne signifie pas compliqué, mais implique de multiples relations entre de multiples éléments et que ces relations puissent induire des effets de renforcement ou d'inhibition, compte tenu de l'état des éléments et de la finalité assignée au système. »

« Le principe de tout système est l'**Un**, l'**unité** et son maintien. Cette unité est son essence et sa finalité, comme l'étymologie le suggère. L'origine grecque a pour racine **Sy** : ensemble et **stème** qui signifie debout. » Micheline Cousture

« La dynamique des systèmes est la confrontation entre la théorie conçue comme la résolution parfaite de la dialectique et la pratique conçue dynamique chaotique au sens de théorie du chaos régulée par quelque chose que l'on ne saurait bien démontrer. »

E

Équilibration : fonction visant à maintenir dans une **posture de référence** érigée qui nécessite la stabilisation de la **projection du centre de gravité** à l'intérieur de la surface délimitée par les points d'appui au sol.

Équilibre : définition scientifique de l'équilibre : variation autour d'un point d'équilibre...

Équilibre orthostatique : en clinique, on définit l'équilibre orthostatique par la position du corps en érection, les bras le long du corps, le regard au loin (direction primaire) à la hauteur des yeux.

Équilibre postural (modèles) : les modèles de l'équilibre postural sont :

- le pendule inversé de Gurfinkel ;
- le double pendule inversé de Nashner ;
- le modèle segmentaire de Massion.

Historiquement, en posturologie, on peut identifier les principaux modèles :

- le centre de pression seul ;
- le centre de masse seul ;
- les centre de pression et de masse ;
- le pendule inversé ;
- le double pendule ;
- les multisegments.

Examen clinique : le but est de déterminer l'entrée du SPA dont la modification de l'asymétrie tonique pathogène permettra l'efficacité de tout traitement (voir chapitre 6).

F

Fixation oculaire : processus réflexe sensorio-moteur ayant pour rôle d'amener par une série de saccades et de maintenir l'image rétinienne de l'objet d'attention visuelle en la zone fovéolaire rétinienne privilégiée par sa capacité discriminative et par son rôle de centre de référence rétinio-moteur égocentrique.

Le regard normal balaie constamment l'espace visuel en micromouvements de fixation, ce système oculomoteur permet un perpétuel réajustement par feedback de cette exploration bifovéale.

Fukuda Tadashi : professeur de médecine, pionnier de la posturologie clinique au Japon.

G

Geste (activité gestuelle) : les sujets décrivent plus facilement leurs capacités gestuelles que l'appréciation de leur façon de se situer dans leur environnement. L'entretien est facilité en déclinant les gestes possibles, difficiles voire impossibles au quotidien comme l'illustre la bande dessinée de Grateau.

Gravité (centre de ligne de gravité) : le maintien de la ligne de gravité au voisinage de sa position d'équilibre est une résultante.

H

Hétérophorie : anomalie latente de l'équilibre oculomoteur compensée en vision binoculaire, révélée par une dissociation suffisante dont l'interruption est suivie de restitution sensorielle et motrice.

L'hétérophorie est désignée par son sens au moyen du préfixe qui remplace hétéro.

L'**ésophorie** est la tendance à faire dévier l'axe visuel de l'un ou des deux yeux en dedans (vers le nez), l'**exophorie** vers l'extérieur, l'**hyperphorie** vers le haut, l'**hypophorie** vers le bas. La **cyclophorie** correspond à une rotation autour de l'axe visuel en **incyclophorie** (partie supérieure du méridien vertical de la cornée inclinée vers le nez) ou **excyclophorie** (vers la tempe).

Homéostasie : l'homéostasie représente les variations autour d'un équilibre. Dynamique fondamentale sur laquelle repose la cybernétique, permettant de prendre comme modèle de base : « la boîte noire », « les input », « output », la situation initiale, la situation finale qui impliquent :

- les organes de perception, les capteurs d'information ;
- les organes de transmission de l'information ;
- les organes de traitement et de stockage d'information ou mémoires.

Auquels s'ajoutent :

- les dispositifs de rétro-action ou « feed-back », base de l'asservissement et du contrôle automatique du fonctionnement ;
- les dispositifs de calcul (incluant le calcul probabiliste) ;
- les dispositifs de « feed-before » ou « feed-forward », soit l'anticipation, la pré-vision de l'objectif à atteindre, avec la notion de conduite pour réussir.

L

Langage : sa complexité rend compte de deux fonctions fondamentales :

- l'une **argumentative** pour le raisonnement, la logique ;
- l'autre **narrative** pour se raconter, raconter des histoires, raconter des mythes.

Les **mythes d'origine** représentent la base de la régulation sociale.

Le rythme du langage et la musicalité sont des constantes dans toute culture.

Phonèmes et graphèmes sont les productions et représentations culturelles de l'espèce humaine.

Nous sommes dans une **civilisation de l'image**. Phénomène récent (100 000 ans), les images sont à replacer dans un contexte car chargées du sens au moment où elles ont été perçues, créées, interprétées.

Latéralité (voir dominance), pied d'appui : la latéralité de l'homme aurait donc été rendue possible par la posture verticale et favorisée par l'exercice de tâches motrices asymétriques préférentiellement manuelles, sachant que 90 % des individus sont asymétriques.

La préférence manuelle peut être influencée par la pression culturelle et la main ne se cantonne pas à la préhension ou l'écriture mais également à différentes tâches motrices qui impliquent soit la pince pouce-index, soit une gestualité unilatérale variable.

La notion de pied, dominant ou non, prend un sens particulier dans la vision posturale des asymétries toniques. C'est autour du pied non dominant que pivoterait le sujet au cours du test de Fukuda.

Localisation égocentrique : localisation des objets visuels par rapport à l'observateur pris comme centre de référence *via* son schéma corporel subjectif.

Loi des canaux : hypothèse de P.M. Gagey, « la déviation du rayon lumineux incident par un prisme dans la direction opposée à la direction préférentielle d'action du muscle droit médian et droit latéral agit sur le tonus postural comme la déviation de l'endolymphe excitant le canal semi-circulaire horizontal qui gouverne ce muscle oculomoteur ». La généralisation de cette loi établit les correspondances entre muscles oculomoteurs et tonus des membres inférieurs. Gagey a choisi les trois axes privilégiés de l'oculomotricité d'après Krewson : 0°-180°, 55°-235°, 125°-305° ; la base du prisme est placée dans la direction opposée à l'action principale du muscle oculomoteur que l'on veut solliciter.

M

Maddox : la **baguette de Maddox** est un accessoire d'optique composé d'une série de cylindres étroits juxtaposés parallèlement, et donnant d'une source lumineuse ponctuelle une image linéaire perpendiculaire à l'axe neutre des cylindres.

Le **test de Maddox** consiste à placer devant un œil la baguette, qui rompt la fusion du fait de la dissemblance entre les images des deux yeux ; elle sert donc à mesurer les déviations latentes, par l'écart entre les deux images des deux yeux (point lumineux, image linéaire). C'est un test de perception simultanée avec dissociation appartenant au premier degré de Worth. Le test de Maddox illustre la variation de la position

relative des deux images liée à la variation de l'équilibre oculomoteur binoculaire du sujet.

Manipulation : les manipulations des entrées du SPA sont utilisées comme outil diagnostique. Le traitement manuel ostéopathique soigne surtout les troubles fonctionnels, tout en prenant en compte les dysfonctionnements articulaires, pour restituer une mobilité conforme à la physiologie articulaire (voir chapitre 14).

Marey Jules Étienne (1830-1904) : médecin, physiologiste créateur de l'enregistrement graphique et photographique des phénomènes physiologiques, décomposant notamment le mouvement ; directeur de la Station de Physiologie créée dans le jardin de Roland Garros.

Muscle squelettique : le paradigme du « muscle ficelle » dans l'observation de l'aplomb et des degrés de liberté des segments corporels se doit d'être abandonné et remplacé par celui des systèmes musculaires complexes (voir chapitre 5.1).

N

Normes et valeurs de référence : en complément des mesures réalisées pour un sujet, dans diverses situations, de ses variations personnelles consécutives à des essais de manipulations du système postural d'aplomb avec disparition des douleurs et des plaintes comme but ; il est toujours intéressant de le comparer aux valeurs dites « normales », valeurs moyennes et écart type de groupes de sujets dans sa même tranche d'âge, avec ou sans signes fonctionnels, ayant été enregistrés dans les mêmes protocoles (voir chapitre 11.2).

O

Œil anatomie : l'œil est composé d'une enveloppe périphérique rigide nommée la **sclère**. Elle est tapissée par un tissu nourricier, la **choroïde**, et une enveloppe qui tapisse la choroïde en dedans, la **rétine**. La sclère se poursuit en avant par la **cornée** et en arrière par le **nerf optique**.

La rétine est composée de **cellules sensibles à la lumière** qui vont transmettre vers l'arrière du globe, par l'intermédiaire du nerf optique, toute l'information visuelle vers le **cerveau**.

Œil postural : se détermine par la pratique du test de Romberg postural avec occlusion de chaque œil. Celui qui ne modifie pas les réponses posturales sera l'œil postural et n'est pas forcément l'œil choisi dans un test d'alignement ou de visée qui donne l'œil directeur dans cette tâche latéralisée précise.

Orthèse plantaire : semelle antalgique diminuant la pression autour d'une zone douloureuse de la sole plantaire, semelle de correction orthétique, semelle visant la modification du tonus postural ; le podologue, en complément des soins des pieds, se doit d'utiliser à bon escient tous ces outils thérapeutiques (voir chapitre 10.5).

P

Paillard Jacques : neurophysiologiste français (5/03/1920-26/07/2006). À l'invitation d'Alfred Fessard, il entre au CNRS, à l'Institut Marey. Maître de conférences à Marseille en 1957, il crée l'Institut de neurophysiologie et de psychophysiologie (INP) du CNRS. Jacques Paillard a développé une ligne de recherche importante sur les mécanismes utilisés par le système nerveux pour nous permettre de réaliser des gestes.

Perception : retenons la théorie du construit, même dans une logique empirique, les représentations élaborées par les perceptions ne sont pas forcément la réalité, mais elles constituent un apport de connaissances, à la fois dans le constat de son fonctionnement, l'attribution d'un sens, donc capables d'apporter un soulagement et un

- mieux-être à l'être humain. Toute expérience est source de connaissance et constitue le matériau de la pensée ; partant de la sensation, on arrive à la réflexion. On doit prendre les choses telles qu'on les perçoit, sans motivation. La perception relève de l'ordre de votre réalité plus que de l'ordre de la vérité. Comme pour l'argumentaire concernant les illusions, les hallucinations, qui ne sont que la confrontation à de pures apparences, percevoir, c'est toujours se tromper.
1. Perception Littré :
2. Terme de Philosophie : acte par lequel l'esprit perçoit l'objet qui fait impression sur les sens.
3. Toute sensation, tout phénomène de sensibilité, tout phénomène de sensibilité spéciale ou générale se compose de trois actes différents : l'impression, la transmission, la perception.
- Pied** : le pied a une place privilégiée dans la régulation de la posture de part sa triple compétence d'exo-capteur, d'endo-capteur et d'acteur de l'équilibre (voir chapitre 4.4). Structure à trois arches ou fermes, les voûtes interne, externe et antérieure, cette organisation en forme de trépied est capable de se déformer et, comme une lame de ressort, revenir à sa forme d'origine.
- L'angle tibio-tarsien est l'angle déterminé par l'axe du pied et l'axe bimalléolaire (voir chapitre 7.3).
- La **podométrie** concernant la posturologie apporte les mesures du pied en charge sans ou avec déplacement spatial des zones interfaçage pied-support (voir chapitres 4.3.1 et 12.3).
- Position de « repos » dissociée** : position relative des yeux l'un par rapport à l'autre après dissociation binoculaire, étudiée cliniquement avec le test de Maddox ou le Coordinimètre.
- Position active qui conserve le tonus de fixation monoculaire même sur l'œil « dissocié », masqué, le tonus lié à l'état vigile et le tonus postural.
- Positions diagnostiques en clinique** : positions obtenues par un mouvement de rotation des yeux dans les huit directions « principales » du regard, plus la position primaire.
- Position primaire du regard** : les yeux regardent tout droit à l'infini dans le plan horizontal, les méridiens cornéens étant verticaux, la tête et le corps en position orthostatique.
- Position « zéro » de l'oculomotricité, active du fait des multiples influx qui stimulent le tonus oculomoteur, en particulier l'influx de convergence accommodative et proximale, l'influx de fusion et de fixation, l'influx en rapport avec le tonus musculaire à l'état vigile, en attention, soit l'influx des réflexes posturaux.
- Posture** : la posture est une position stable du corps dans l'espace. Le contrôle de la posture constitue un exemple de coordination d'activités réflexes multiples s'intégrant dans un schéma comportemental.
- L'activité motrice posturale a trois fonctions essentielles :
- lutter contre les effets de la gravité ;
 - assurer l'équilibre du corps immobile, l'étude du fonctionnement du système d'aplomb et de ses défauts fera l'objet de notre approche clinique ;
 - coordonner le maintien de l'équilibre du corps avec l'exécution d'un mouvement ou d'un déplacement.
- La posture doit toujours se décliner en « dimension relationnelle », c'est toujours une « position en rapport à, en rapport avec », dans un temps donné.
- Posture oculaire** : ensemble des processus physiologiques maintenant les yeux dans une attitude fixe, en relation avec l'attitude globale de la tête, du cou et de l'ensemble du corps.

Posturologie : fondamentalement, la posturologie se veut réduite à un regard biomécanique. En tant que clinicien posturologue, il est et reste biomécanicien (voir chapitre 1).

Posturologue : partant de la définition de la théorie des systèmes et de leurs dynamiques, une définition du posturologue se profile. Le posturologue travaille comme un analyste des systèmes, observant les dysfonctions, les changements d'équilibre, les facteurs déclenchant les pertes d'équilibre et les « moments de bascule ». Il s'agit d'analyser pour expliquer « comment ça bouge » et, de façon concomitante, ce qui fait que « ça ne bouge pas », c'est-à-dire les dysfonctions. Avec l'appui des outils des mathématiciens de la « théorie du Chaos », il nous sera possible d'observer l'être humain dans son unité, comme une individualité, et ainsi permettre d'expliquer et de comprendre ses comportements d'adaptation.

Précision du système postural fin ou d'aplomb : en situation yeux ouverts, la précision est supérieure de 250 % à la situation yeux fermés (quotient de Romberg) ; l'entrée visuelle joue sur les fréquences basses des oscillations posturales inférieures à 0,5 Hz.

Presbytie : diminution du pouvoir d'accommodation qui devient consciente pour tout sujet quand le trouble empêche la mise au point en vision rapprochée.

Prisme : dans le traitement du SDP, en plus de la reprogrammation posturale, une correction optique par verres prismatiques de faible puissance peut faciliter la correction de l'hypertonie posturale asymétrique en renforçant le tonus du côté déficient par prothèse prismatique. La seule difficulté technique de la méthode reste à déterminer la puissance et la position du prisme.

Propriétés de la scène visuelle, reliées aux propriétés des neurones récepteurs du capteur : elles concernent :

- la localisation dans l'espace ;
- l'orientation ;
- les fréquences spatiales, hautes pour les détails fins, basses pour les surfaces ;
- les contrastes et intensités lumineuses ;
- la direction du mouvement ;
- la binocularité ;
- les longueurs d'ondes électromagnétiques visibles entre 400 et 700 nm, les couleurs et les contrastes colorés, blanc/noir, bleu/jaune, rouge/vert.

Organisation de la fonction visuelle selon l'architecture des voies de transmissions, pour un traitement en parallèle des différentes informations par des structures de système nerveux central :

Voie magnocellulaire (M) ou alpha : grands champs récepteurs (jusqu'à 5° d'angle), traitant les informations de faible contraste, de fréquences faibles, de la direction du mouvement, correspondant aux régions périphériques de la rétine.

Voie parvo-cellulaire (P) ou bêta : petits champs récepteurs (1 minute d'angle), traitant les formes, les couleurs, les détails, fréquences élevées, correspondant à la zone fovéale rétinienne.

Proprioception : sensibilité profonde qui permet la connaissance de la position de notre corps dans l'espace et de la position de nos membres par rapport au corps. Elle correspond à trois qualités : sensibilité à la position (valeur des angles des articulations), sensibilité au mouvement (vitesse, amplitude et direction) et sensibilité à la force qui se superpose à la sensibilité à la pression.

Les informations proprioceptives somatiques, émanant des récepteurs sensoriels musculo-tendineux et fusoriaux, renseignent les centres nerveux sur l'état de contraction des muscles et les attitudes du corps.

Proprioception musculaire : système sensoriel mécano-sensible qui permet d'assurer des fonctions motrices et sensibles, l'orientation comportementale et les régulations posturales, et contribue à relier fonctionnellement le corps à son espace d'action (voir chapitre 4.2).

Q

Questionnaire et échelle visuelle analogique : l'échelle visuelle analogique (voir chapitre 11.1) permet au patient d'attribuer une valeur « qualitative » pour lui et « quantitative », car chiffrée, pour le clinicien. Cette indication subjective, d'une modification de l'évaluation d'un mieux-être, est précieuse, traduisant autrement qu'avec les mots utilisés par le patient pour rendre compte d'un état de souffrance maximal évoluant vers la disparition de la douleur (voir chapitre 11.3).

Chaque spécialiste d'une entrée possède déjà son questionnaire, il lui facilite souvent l'établissement de l'anamnèse du sujet. Il permet aussi au clinicien une pré-classification et une hiérarchie des points douloureux signalés par le patient en fonction de ses activités, de son mode de vie et de ses attentes.

Quotient du Romberg : comparaison des performances cliniques et stabilométriques, Yeux ouverts *versus* Yeux fermés.

Quotient plantaire : étude sur plate-forme des modifications de la régulation posturale par interposition de différentes épaisseurs de mousse *versus* sol dur, illustrant le double rôle du pied comme capteur (fonction sensorielle de la sole plantaire) et effecteur (fonction biomécanique) (voir chapitres 10.3 et 10.4).

R

Rééducation : le plateau de rééducation propose en premier lieu au patient une découverte et une prise de conscience de son système postural d'aplomb, du « comment il tient debout ! ». En coupant la boucle podale habituelle, l'auto-entraînement sur le plateau lui fait développer d'autres boucles sensorielles et d'autres stratégies (voir chapitre 14.4).

Référentiels sensoriels fusionnés du contrôle postural : ils concernent :

- le référentiel **géocentré** : référentiel gravitaire ;
- le référentiel **égocentré** : informations somesthésiques de l'axe céphalo-caudal et des segments corporels ;
- le référentiel **allocentré** : orientation et distance des objets entre eux et par rapport au corps, systèmes auditif et visuel.

La construction multi-sensorielle des informations vestibulaires otolithiques, somato-sensorielles et visuelles s'illustre dans la représentation de la verticalité.

Réflexes : les réflexes permettent d'appréhender la physiologie de boucles sensorimotrices.

L'épreuve de piétinement objective l'hypertonie et permet de la qualifier (rotation droite ou gauche) et de quantifier le spin. En ajoutant le réflexe du cou et la manœuvre de convergence podale, ces trois réflexes permettent d'investiguer cliniquement trois boucles sensorimotrices différentes et ainsi d'orienter la recherche des dysfonctions proprioceptives.

Réflexe postural d'origine oculo-motrice : la rotation du regard, direction à droite par exemple chez le sujet normal, debout, pieds joints, entraîne une déviation controlatérale de l'axe du corps.

Chez le sujet assis, on comparera la position relative des deux gros orteils (feet motion test) dans cinq positions :

1. le sujet regardant droit devant lui, nez dans la direction du regard ;
2. tête au repos, regard tourné à droite ;
3. tête au repos, regard tourné à gauche ;
4. tête et regard tournés à droite ;
5. tête et regard tournés à gauche.

Ces mesures quantifient la variation tonique posturale des membres inférieurs en cathédrostatisme. Pour Gagey, seul le mouvement du regard provoque un déplacement des pieds chez 75 % des sujets, la rotation isolée de la tête, les yeux en position centrée droit devant, ne fait pas apparaître normalement de réaction tonique des membres inférieurs.

Régulation : le système asservi ou servo-mécanique, modifié de façon automatique (comme le contrôle fusimoteur du réflexe myotatique par exemple), constitue un système à boucle fermée (régulation par feed-back). Il est à opposer au système en boucle ouverte (nommé feed-forward), simple commande d'effecteurs sans intervention de boucle de régulation.

Cette différence peut être illustrée par une comparaison existant entre le contrôle de la posture par les centres supérieurs et le contrôle dû à des mouvements volontaires.

Régulation de la posture : comparaison constante entre sources de références et activité référencée, basée sur l'orientation du corps et la stabilisation de la posture.

Représentation : d'après Henri Lefevre : « La représentation concerne, non seulement le sujet qui connaît des objets à partir de l'élaboration des concepts fruits de l'entendement et de l'intuition. Mais elle concerne aussi le sujet lui-même en tant qu'objet de connaissance : corps dans l'espace et le temps ayant et agissant, se donnant à se connaître lui-même et se formant à partir de "ses actes isolés et successifs", se représentant en l'autre et ne se représentant qu'à travers cet autre. »

S

Schéma corporel : représentation interne du corps, construit au cours de l'ontogénèse à partir des entrées multi-sensorielles, cadre de référence égocentré indispensable à notre perception du corps et à la production de mouvements du corps.

SPA : le système postural d'aplomb se comporte comme un système dynamique non linéaire dont l'état à l'instant t dépend de l'instant $t-1$, $t-2$, etc.

Stabilométrie : enregistrement sur plate-forme, complément et second temps de l'examen clinique postural, qui mesure les performances globales du système postural d'aplomb d'un sujet, dans un environnement normalisé, pendant un temps donné, selon un protocole statistique d'analyse du signal. Les résultats de cet examen peuvent ainsi être comparés aux normes d'une population de référence enregistrée dans les mêmes conditions (voir chapitre des mesures quantitatives).

D'après Pierre Marie Gagey : « La stabilométrie observe et mesure comment un homme arrive à se stabiliser dans des conditions arbitraires qui lui sont imposées. »

Les **principaux paramètres** du centre de pression concernent (voir chapitre 12.1) :

- le X moyen dans le plan latéral (droite-gauche) ;
- le Y moyen dans le plan sagittal (antéro-postérieur) ;
- LFS, longueur en fonction de la surface ;
- VFY, variance de la vitesse en fonction de l'axe des Y ;
- le QR, rapport de la surface Yeux fermés/Yeux ouverts (valeur moyenne normale, 2,5) ;
- FFT en X et Y.

Standardisation pour validation : seule la standardisation pour la validation des études de chacun des tests et épreuves peut permettre un raisonnement rigoureux. Cette méthodologie qui s'appuie sur la physiologie articulaire et des statistiques semble être la seule à pouvoir, pour le moment, valider notre démarche diagnostique.

Stéréoscopie : perception de la profondeur, sens du relief précis instantané dû à la vision binoculaire.

Stratégies posturales pour maintenir le contrôle postural orthostatique : stratégie de cheville et ou de hanche pour les faibles oscillations.

Stress : interaction constante de deux composantes :

- le stress mental ou émotionnel, provoqué par des problèmes relationnels, environnementaux et des pensées négatives ;
- le stress de position, généré par des excès d'efforts physiques, une mauvaise façon de se tenir, un travail prolongé dans une même position non ergonomique.

Syndrome de déficience postural (SDP) : atteinte posturale, décrite initialement par le **Pr. Henrique Martins Da Cunha**, s'exprimant par la perturbation des actions de l'homme dans son environnement proche, avec ses outils, ses stratégies d'adaptation, son schéma corporel et des douleurs ressenties. Ces crises douloureuses, locales ou diffuses, à composantes thoraciques, abdominales, arthralgiques, allant jusqu'au lumbago, peuvent provoquer nausées, vomissements, étourdissements ou crises de vertige jusqu'à la chute, bien au-delà des signes subjectifs.

Syndromes posturaux : réactions d'un système postural altéré, présence d'une hypertonie systématisée touchant les muscles axiaux et/ou distaux. Le syndrome postural harmonieux présente une hypertonie croisée entre les deux groupes de muscles axiaux et distaux, à ne pas confondre, et permet d'établir le diagnostic différentiel avec les asymétries normales à minima de la posture orthostatique chez tout sujet normal. Le syndrome dys-harmonieux présente l'hypertonie homolatérale de tous les muscles, avec un pli fessier très décalé sur la verticale de Barré et une position moyenne en x sur le statokinésigramme, qui dépasse les valeurs statistiquement normales.

Système postural d'aplomb : la physiologie de l'aplomb décrit notre capacité à tenir debout. L'étude actuelle de ce système comporte des choix, elle privilégie les entrées, les organes fournissant des informations sur la position du corps dans son environnement : les exo-capteurs (entrées visuelle, otolitique, podale), les endo-capteurs fournissant les postions réciproques des exo-capteurs (proprioception musculaire et cutanée). La négligence de l'organisation topologique du système nerveux central, des voies et centres utilisés pour le cheminement des informations, des commandes, des intégrations sensorielles, des représentations inconscientes et conscientes, du facteur temporel, correspond à une attitude épistémologique liée à une approche thérapeutique « fonctionnelle » efficace pour nos patients en souffrance (voir chapitre 13).

Système trigéminal : les connexions entre le système trigéminal, les systèmes proprioceptifs oculomoteur, cervical et le système vestibulaire permettent, en plus de la dynamique manducatrice, un contrôle de l'équilibre céphalique et des ajustements réflexes de la posture (voir chapitre 3.2).

T

Test : pour augmenter la fiabilité de l'observation et éviter toute erreur d'exécution ou d'interprétation, il est souhaitable que la batterie de tests pratiqués au cours de l'examen clinique d'un patient avant et après manipulation d'une entrée soit toujours réalisée dans le même ordre. En respectant les mêmes consignes et les mêmes latences entre deux épreuves, le risque de biais diminue, même pour une comparaison « intra-sujet » (voir chapitre 6).

Test de convergence tonique : les déséquilibres toniques peuvent perturber le mouvement de convergence. Convergence extrême liée au tonus des muscles oculomoteurs, dans une zone de l'espace très proche du sujet où sont dépassées les composantes physiologiques de la convergence réflexe, soit la convergence accom-

modative, la convergence fusionnelle, la convergence proximale. La manœuvre est réalisée tête libre dans la position naturelle pour le sujet, puis tête maintenue pour que la ligne joignant les deux pupilles soit horizontale. La comparaison objective le déséquilibre.

Test de latéralité podale ou test de Hillel : a pour but de déterminer le pied dominant, opposé du pied d'appui (voir chapitre 8.8).

Test de la verticale de Barré : voir Barré.

Test de piétinement de Fukuda : le patient debout, yeux fermés, doit piétiner en levant les genoux à la hauteur de la ceinture (50 fois). La manœuvre est considérée comme normale quand le sujet en situation tête neutre (TN) se retrouve dans un cadran limité par deux rayons situés à 30° de part et d'autre du diamètre sagittal initial.

La valeur de l'angle de rotation du sujet autour de son axe vertical quantifie son mouvement de spin.

Le test est répété avec une rotation de la tête à droite (TD) sachant que le sujet normal se dévie à gauche et produit un spin antihoraire, puis à gauche (TG) le sujet normal est dévié à droite et produit un spin horaire. Ceci pour mieux apprécier et quantifier l'équilibre tonique des membres inférieurs, en faisant intervenir le réflexe tonique postural nuchal qui relève le tonus des muscles extenseurs du membre inférieur du côté où la tête est tournée.

Ce test met en évidence la normalisation du spin par le port d'un verre prismatique le plus approprié.

Test posturo-cinétique : à visée statique, positionnelle, morphologique, et pour évaluation segmentaire du tonus musculaire et postural (voir chapitre 8).

Test des pouces : test opérateur dépendant, se pratique sur toute la hauteur du rachis. Pour être significatif, une différence de hauteur de deux centimètres entre les deux pouces sera observée. Sa validité réside dans la comparaison des variations intra-individuelle (voir chapitre 8.5).

Test de résistance du gros orteil : analyse de la biomécanique du long fléchisseur de l'hallux, fléchisseur propre du gros orteil. Le levier de l'arche interne du pied, ayant son pivot postérieur au niveau de la tubérosité du calcaneum et son appui antérieur sur la dernière phalange du gros orteil, contribue à la balistique de l'équilibre et de la marche (voir chapitre 7.3).

Test de Romberg postural : le patient debout, bras tendus avec index en avant, yeux fermés, doit maintenir la position quelques minutes (voir chapitre 8.2).

Test des index de De Cyon : manœuvre de positionnement des index, pour apprécier l'équilibre tonique des membres supérieurs. Le sujet est assis, les yeux fermés, ses deux bras tendus horizontalement, les poings fermés sauf les index en extension, face à face sans se toucher ; il agite les bras dans le plan sagittal puis essaie de les arrêter le plus exactement possible au même niveau. La manœuvre est répétée dix fois à la suite, et dans trois positions de la tête : centrée, tournée à droite, puis à gauche. On note l'hypertonie relative du côté de la main la plus haute. Ces réflexes nucaux ne sont considérés comme anormaux que s'il y a inversion du mouvement attendu.

Test des rotateurs : test élaboré par Patrick Guillaume et Pierre Marie Gagey, qui permet d'apprécier le tonus des muscles rotateurs des cuisses. Le sujet est placé en décubitus dorsal, l'examineur saisit chaque pied, soulève légèrement les jambes et les fait tourner autour de l'axe de chaque membre inférieur en appréciant l'angle formé par les axes des pieds.

Ce test évalue rapidement l'effet d'un prisme de 3 dioptries sur les 12 muscles oculomoteurs, ainsi que la réponse secondaire passive sur les rotateurs internes et externes des deux membres inférieurs (voir chapitre 8.3).

Test des trois roulades avant, les yeux fermés : épreuve confirmant toute asymétrie posturale, facilement réalisée dans le cadre de l'éducation physique (voir chapitre 9.2). Le test de nage avec suppression de la vision, à répétabilité intra-individuelle, démontre aussi les effets des asymétries posturales dans un mouvement, comme dans le test de piétinement (voir chapitre 9.3).

Test du temps d'appui unipodal : la notion de pied, dominant ou non, prend un sens particulier dans la vision posturale des asymétries toniques. Les mesures cliniques du temps d'appui unipodal entre 5 et 40 secondes sur chaque pied sont instructives. Il est convenu que le pied non dominant est celui qui reste au sol à la première demande de se mettre à cloche-pied ; son côté droit ou gauche est noté sur la feuille de recueil, l'autre étant le pied moteur. Équivalence ou différence des temps d'appui unilatéral renseigne sur les capacités d'équilibre et permet de dépister le risque de chute (voir chapitre 8.7).

Théorie des systèmes, d'après le Pr. Guy Furchani : « Le concept de système se décline en 4 concepts fondamentaux :

1. **l'interaction ou interrelation** renvoie à l'idée d'une **causalité non linéaire**. Une forme particulière d'interaction est la rétroaction (ou feed-back) dont l'étude est au centre des travaux de la cybernétique.
2. La **totalité** (ou la **globalité**) : l'ensemble des éléments constituant un système ne s'y réduit pas. Selon la formule consacrée, le tout est plus que la somme de ses parties. C'est le phénomène d'émergence : au niveau global, apparaissent des propriétés non déductibles des propriétés élémentaires, ce qu'on peut expliquer par un effet de seuil.
3. **L'organisation** est le concept central : les propriétés d'une totalité dépendent moins de la nature et du nombre d'éléments qu'ils contiennent que des relations qui s'instaurent entre eux. Les cerveaux humains possèdent tous à peu près le même nombre de neurones, mais ce qui va décider des différentes aptitudes, c'est la nature et le nombre de relations entre eux dans telle ou telle aire. En s'organisant, une totalité se structure.

Il existe **deux sortes d'organisation** : l'organisation **en modules, en sous-systèmes** procède par **intégration** de systèmes déjà existants, tandis que l'organisation **en niveaux hiérarchiques** produit de nouvelles propriétés, à chaque niveau supplémentaire. L'**émergence** est la création d'un niveau hiérarchique supérieur amenant de nouvelles propriétés.

La notion d'organisation recouvre un **aspect structurel** (comment est construite la totalité) et un **aspect fonctionnel** (ce que la structure lui permet de faire). On peut représenter **une structure par un organigramme, la fonction par un programme**.

4. **La complexité**. La complexité d'un système tient au moins à trois facteurs :
 - le **degré** élevé d'organisation ;
 - l'**incertitude** de son environnement ;
 - la difficulté, sinon l'**impossibilité d'identifier** tous les éléments et toutes les relations en jeu.

D'où l'idée que les lois qui permettent de décrire ce type de système ne conduisent pas à sa reproduction à l'identique, mais à la **détermination d'un comportement global** caractérisé par une **prédictivité réduite**. »

« **Description d'un système**

1) **Sous son aspect structurel** :

- a) les **éléments** constitutifs plus ou moins homogènes ou hétérogènes ;
- b) une **limite** qui sépare la totalité des éléments de son environnement : cette limite est toujours plus ou moins perméable et constitue une interface avec le milieu extérieur (par exemple, la peau du corps).

- c) des **réseaux** d'interrelations entre les éléments, dont le nombre indique le degré d'organisation et signe la complexité d'un système. Les deux principaux types de relations sont : les **transports** et les **communications** qui peuvent se réduire à un seul, puisque communiquer c'est transporter de l'information, et transporter sert à communiquer (faire circuler) de l'information.

- d) des **stocks ou réservoirs**, où est entreposée l'information constituant les ressources du système qui doivent être transmises ou réceptionnées.

2) **Sous son aspect fonctionnel :**

Les **flux** empruntent les réseaux de relations et transitent par les stocks. Ils fonctionnent par entrées/sorties (ou inputs/outputs) avec l'environnement.

Des **centres de décision** organisent les réseaux de relations, c'est-à-dire coordonnent les flux et gèrent les stocks.

Des **boucles de rétroaction** servent à informer, à l'entrée des flux, sur leur sortie, de façon à permettre aux centres de décision de connaître plus rapidement l'état général du système.

Des **ajustements** réalisés par les centres de décision en fonction des boucles de rétroaction et de délais de réponse (correspondant au temps que mettent les **informations** « **montantes** » pour être traitées et au temps supplémentaire que mettent les **informations** « **descendantes** » pour se transformer en actions. »

« Il existe **deux sortes de systèmes** : les systèmes **ouverts** et les systèmes **fermés**. Les systèmes ouverts ont plus d'échanges avec leur environnement, les systèmes fermés jouissent d'une plus grande autonomie (auto-organisation), mais aucun système n'est complètement fermé sur lui-même, ni complètement perméable. »

« La **fonction première** d'un système est sa **propre conservation**. L'**homéostasie** dans les systèmes vivants désigne la capacité d'un système à se maintenir dans un état constant, dans sa forme et ses conditions internes, en dépit des perturbations externes.

Tous les êtres vivants créent des boucles de néguentropie provisoires, ils ne reviennent cependant jamais à un état identique, mais évoluent vers un état légèrement différent, qu'ils s'efforcent de rendre aussi proche que possible de leur état initial.

C'est pourquoi le système vivant maintient sa forme malgré des échanges avec l'environnement ; c'est également pourquoi sa stabilité n'exclut pas une certaine évolution.

La simple **régulation cybernétique** pour maintenir un système dans un état constant diffère de l'homéostasie qui, malgré son nom, est un processus complexe et autonome d'autorégulation, impliquant un renouvellement des éléments et une réorganisation structurelle autonomes. »

« Avec la **théorie systémique** la démarche est la suivante : on admet la téléologie comme un **postulat opératoire**. On va donc représenter ce que l'on ne comprend pas dans un phénomène que l'on cherche à étudier sous l'aspect d'une **boîte noire**. Cette boîte noire est considérée comme un **phénomène actif** dont on connaît le **comportement** mais **non le fonctionnement**. Dans la mesure où l'on peut connaître les informations entrant dans cette boîte noire et que l'on en connaît les réactions, on peut en déduire un "feed-back informationnel" qui va permettre progressivement de décrire le système de commande de la boîte noire. »

« La **système**ique, méthode scientifique, applique la théorie systémique. Elle est un nouveau **paradigme** qui **regroupe** des **démarches théoriques, pratiques, méthodologiques**, et **pose** des problèmes concernant les **modes** :

- de l'**observation, de représentation, de modélisation, de simulation** ;
- se **donne pour objectifs** de préciser la notion de système :
- ses **frontières, ses relations internes et externes, ses structures, ses lois ou propriétés émergentes**. »

« Pour se représenter le fonctionnement d'un être vivant, plusieurs concepts s'avèrent utiles :

- les effecteurs (ou **capteurs**), servant à percevoir les modifications de l'environnement ;
- les **effecteurs**, moyens d'action sur l'environnement ;
- la **boîte noire**, élément structurel, dont le fonctionnement interne est ignoré et qui n'est considéré que sous l'aspect de ses entrées et de ses sorties ;
- les **boucles de rétroactions** (ou feed-back) : on constate une boucle de rétroaction lorsque la grandeur de sortie d'une boîte noire réagit sur la grandeur d'entrée, selon un processus de bouclage. Dans ce dernier cas, on n'a plus seulement affaire à une simple relation de cause à effet, mais à une causalité non linéaire, plus complexe, où l'effet rétroagit sur la cause. Il existe deux sortes de feed-back : le feed-back positif (amplificateur) et le feed-back négatif (compensateur). »

« La **cybernétique** est une modélisation de l'échange, par l'étude de l'information et des principes d'interaction. Elle peut ainsi être définie comme la science des systèmes autorégulés, qui ne s'intéresse pas aux composantes, mais à leurs interactions, où seul est pris en compte leur comportement global.

Aujourd'hui, on définit la **cybernétique** comme « la science constituée par l'ensemble des théories sur les processus de commande et de communication et leur régulation chez l'être vivant, dans les machines et dans les systèmes sociologiques et économiques ». Elle a pour objet principal l'étude des interactions entre "systèmes gouvernants" (ou systèmes de contrôle) et "systèmes gouvernés" (ou systèmes opérationnels), régis par des processus de rétroaction ou feed-back. »

« L'**enquête épistémologique** porte sur les modes de production de la connaissance scientifique, les fondements de cette connaissance, la dynamique de cette production. Plusieurs questions en découlent : qu'est ce qu'une connaissance scientifique ? Comment est-elle produite ? Comment est-elle validée ? Sur quoi se fonde-t-elle ? Comment les connaissances scientifiques sont-elles organisées ? Comment évoluent-elles et notamment, progressent-elles ? »

Tonus : activité musculaire entretenue par le cerveau pour maintenir sans mouvement les pièces squelettiques dans l'espace gravitaire, dans une posture donnée (Pierre Marie Gagey).

Tonus musculaire : activité contractile des muscles striés, particulièrement importante dans les muscles posturaux antigravitaires, muscles extenseurs pour les membres inférieurs et fléchisseurs pour les membres supérieurs des bipèdes que nous sommes.

Rappel des influences vestibulo-spinales excitatrices sur les motoneurons de muscles extenseurs et inhibitrices sur ceux des muscles fléchisseurs.

Les réponses toniques archaïques :

- l'**extension** de la tête provoque une extension des bras et une flexion des membres inférieurs ;
- la **flexion** de la tête induit une flexion des membres supérieurs et une extension des jambes ;
- la **rotation** de la tête à droite entraîne une hyper-extension ipsilatérale du bras et de la jambe droite ainsi qu'une flexion de la jambe et du bras gauche.

Ces réponses toniques archaïques imposent les modes de traitement des informations extéroceptives, puis surviendra le **développement céphalo-caudal et proximo-distal** permettant la régulation tonique de la station verticale, orthostatique d'aplomb.

Torticolis : torsion du cou avec inclinaison de la tête. Attitude qui peut correspondre à une position compensatoire d'une anomalie oculomotrice : le sujet pour regarder droit devant lui tourne et incline la tête ne pouvant redresser son regard.

Traitement d'un syndrome de déficience posturale (SDP) : le traitement est basé sur la modification proprioceptive grâce à la reprogrammation posturale. Il exige la coopération interdisciplinaire.

U

Union binoculaire : processus sensoriel en cas de tropie, soit une vision binoculaire partielle avec une fusion incomplète des deux images fournies par mis-alignement des deux yeux en cas de strabisme, avec suppression des informations fovéolaires et maculaires d'un œil mais conservation d'un champ binoculaire périphérique.

Validation : au moins trois tests sont indispensables pour affirmer une asymétrie tonique pathogène et la modifier. Deux tests déterminent et qualifient sa présence, le troisième test mesure et quantifie, en permettant une comparaison aux valeurs de référence. La normalisation de ces trois tests pour un même patient confirme que la physiologie est de nouveau respectée (voir chapitre 6.2).

Ventilation pulmonaire : la respiration, activité rythmique de fréquence et d'amplitude variable, régie par son générateur spécifique, sera à prendre en compte dans le système d'aplomb, qu'elle soit ventrale ou thoracique (voir chapitre 12.1).

Vergences : mouvements « disjoints » des yeux dont l'amplitude détermine les valeurs quantitatives de vergence possible sans dissocier la vision binoculaire.

Versions : mouvements conjugués synchrones des deux yeux dans le même sens, la même direction.

Verticale de Barré : voir Barré.

Vestibule(s) : l'organisation du système vestibulaire : les utricules et les saccules de l'oreille interne détectent la position de la tête dans l'espace. À la fois **système inertiel** sensible à la gravité et accéléromètre linéaire sensible à l'orientation et l'inclinaison de la tête, elles exercent une action tonique constante sur les muscles extenseurs ipsilatéraux.

Les canaux semi-circulaires détectent les mouvements de rotation de la tête grâce au mouvement inertiel de l'endolymphe. Disposés selon les trois plans de l'espace, la détection des mouvements de rotation de la tête est réalisée dans tous les plans et constitue la base des réactions dynamiques du maintien de l'équilibre. Les maculas utriculaires *via* les noyaux latéraux de Deiters sont à l'origine de la **modulation du tonus des muscles antigravitaires bilatéraux** et sont donc impliquées dans les **réactions statiques d'équilibration**. Le tonus, par exemple, est accru du côté où la tête est inclinée et est diminué de l'autre côté.

Le noyau vestibulaire inférieur intègre les informations vestibulaires et cérébelleuses.

Les noyaux vestibulaires médian et supérieur sont impliqués dans les réflexes vestibulo-oculaires (voir chapitre 4.1).

Vicariance idiosyncrasique : base du concept de visuo-dépendance, chaque sujet ne place pas l'entrée visuelle au même niveau que les autres entrées sensorielles.

Vicariance : qui remplace, se substitue.

Idiosyncrasie : disposition personnelle particulière, généralement innée, à réagir à l'action d'agents extérieurs.

Viellissement : « d'une manière générale, l'allongement du temps de latence des nerfs, l'augmentation des raideurs musculaires, articulaires, allant jusqu'aux phénomènes arthrosiques patents et parfois massifs, font partie intégrante du vieillissement des effecteurs. Ils ont des conséquences directes sur les différents tests posturaux ; les rendant parfois difficiles à effectuer et à interpréter » (voir chapitre 15.2).

Vision binoculaire : capacité des deux yeux à fixer, s'aligner sur un point de l'espace permettant la fusion des deux points de vue en une seule représentation mentale.

La vision binoculaire « normale » s'observe de façon optimum sur des objets réels, solides, à trois dimensions en fournissant aux deux yeux des images semblables en forme, couleur, luminosité, dans un espace libre, structuré tridimensionnel et à un niveau lumineux suffisant (soit photopique).

Worth en 1903 propose trois degrés pour définir et étudier la vision binoculaire :

- 1^{er} degré, la **perception simultanée fovéolaire** ou maculaire : le sujet reçoit deux images différentes pour chaque œil. Les niveaux de dissociation sont obtenus par modification plus ou moins importante d'un des facteurs précités de la vision binoculaire ;
- 2^e degré, la **fusion** : superposition binoculaire de deux images identiques. Les zones fovéolaires des maculae correspondent à des centres de références rétino-moteurs, constituant la valeur directionnelle (spatiale) zéro et donne au sujet l'impression de regarder directement l'objet qu'il est en train de fixer.
- 3^e degré, la **stéréoscopie** : perception en une structure en relief, des deux images légèrement différentes fournies par les deux points de vue, soit l'aptitude du prédateur à percevoir les petits écarts en profondeur dans la troisième dimension.

La vision centrale : l'acuité visuelle normale est égale à 20/10, soit 0,3 LogMar.

La zone fovéolaire : 500 microns de diamètre correspondent à un angle de 1°4, 2.5 dioptries, 2°Centraux.

Visuo-dépendance : pour l'équilibration du sujet, sa capacité à maintenir sa posture sans chute, ses coordinations gestuelles, l'entrée visuelle est essentielle à ces processus d'adaptation spatio-temporelle.

Y

Yeux ouverts/Yeux fermés : voir Quotient de Romberg.

INDEX

A

- Accélération linéaire, 39
- Accommodation, 55
- Acquisition
 - dynamique, 207
 - stato-dynamique, 207
- Activité
 - cinétique, 216
 - cognitive, 252
 - électromyographique (EMG), 107
 - tonique posturale, 165
- Adaptation posturale, 208
- Afférences
 - de la sole plantaire, 174
 - du fuseau neuro-musculaire, 263
 - manducatrices, 16
 - périphériques, 262, 263
 - proprioceptives, 44, 164, 263
 - tactiles, 64
 - vestibulaires, 263
 - visuelles, 51, 263
- AfY, 195
- Algies locales, 108
- Alphs, 22, 132
- Améliorations constatées, 229
- Amplitude
 - articulaire de C2 sur C3, 225
 - phasique de divergence, 236
 - tonique, 236
 - tonique de convergence, 236
 - tonique de divergence, 236
- Analyse
 - biomécanique, 206
 - cinématique, 105
 - des réponses posturales, 163
 - des stabilométries, 175
 - du signal normalisée, 194
 - dynamique non linéaire, 218
 - fonctionnelle, 72
 - fractale, 236
 - fréquentielle du signal stabilométrique, 198
 - mécanique, 71
 - multifactorielle, 247
- Angle
 - de convergence horizontale, 165
 - de marche, 173
 - de rotation, 131, 151
 - tibio-tarsien, 89, 90

- Anisométrie, 168
- Anomalie tonique, 76
- Antépulsion du bassin, 136
- Anticipation (feed-forward), 262
- Aplomb et mouvement, 69
- Appareil extenseur du genou, 74
- Appuis nociceptifs, 179
- Arche interne du pied, 97
- Arsenal thérapeutique de l'ostéopathe, 228
- Articulation temporo-mandibulaire (ATM), 16
- Asservissement du sensoriel et du moteur, 54
- Asymétrie
 - anatomique, 24
 - corporelle, 10
 - corticale, 29
 - du tonus postural, 119, 122
 - fonctionnelle, 23
 - posturale, 23, 259
 - tonique, 10, 81, 83, 151, 155, 158, 180, 221, 228
- Ataxie statique, 118
- Attitude
 - épistémologique, 35
 - scoliotique, 89
- Auto-entraînements, 231
- Auto-manipulation de l'axe corporel, 229
- Axe
 - bimalléolaire, 90
 - bipupillaire, 119, 120
 - corporel, 91, 129
 - de départ, 156
 - de Henke, 107
 - de la cible visuelle, 155
 - de nage, 158
 - de rotation, 24
 - du pied, 89, 94
 - optique, 163, 168
 - sagittal, 86, 89, 90
 - tibial transversal, 90
 - vertical, 60, 98

B

- Baguette de Maddox, 98, 99
- Balistique du mouvement, 97
- Base neurophysiologiques du contrôle postural, 262

Bilan orthoptique
 – à finalité posturale, 205
 – à visée posturale, 204
 Bilan stabilométrique (protocole), 199
 Biomécanique, 69, 76, 107
 – de l'axe corporel, 106
 – de la chute, 266
 – vertébrale, 106
 Bipédie, 24
 Boîte noire, 35
 Boucle
 – de rétroaction (feed-back), 262
 – du système postural d'aplomb, 231
 – perception-action, 59
 – podale, 231
 – sensorimotrice, 15
 Bouffées de contractions musculaires, 195
 Bruxisme, 169, 170

C

C7, 85, 87, 91, 134
 Calcul
 – des gains, 152
 – des gains nucaux, 151
 Calotte sphérique, 230, 233
 Canaux semi-circulaires, 36
 Capacité
 – d'inclinaison antérieure, 271
 – de stabilisation et d'équilibration, 270
 Capteur, 62
 – embarqué, 208
 – proprioceptif, 163
 – sensorimoteur, 52
 – visuel, 54
 Caractéristiques de la latéralité podale, 142
 Cartographie en trois dimensions, 89
 CdP, 236
 Ceinture
 – lombo-pelvienne, 98
 – pelvienne, 88
 – scapulaire, 97, 98
 Centrage des verres correcteurs, 168
 Centre
 – de gravité, 60, 97, 155, 199
 – de pression, 24, 96, 97, 155, 179, 199
 Chaîne
 – musculaire, 44, 63
 – proprioceptive, 44, 48
 Champ visuel, 53
 Champs d'actions musculaires, 201
 Chaos, 215
 Chronologie, 36
 Chutes, 262
 – et personnes âgées, 268
 Cinématique vertébrale, 107

Clinicien, 123
 Coefficient de Romberg, 264
 Cohésion entre les signes objectifs, signes fonctionnels, 205
 Colonne cervicale, 107
 Commande motrice, 69
 Complexe pied-cheville, 223
 Comportements musculaires, 69
 Composantes sensorielles et motrices de l'entrée visuelle, 205
 Compression digitale du nerf, 242
 Conditions
 – arbitraires, 194
 – d'enregistrement normalisé, 194, 206
 – d'étude et validation, 81
 – d'examen, 139
 – expérimentales, 235
 Conflits sensoriels, 98
 Consensus intersubjectif, 193
 Consignes, 82
 Contractions musculaires, 76, 178
 Contrôle
 – automatique de votre aplomb, 233
 – de la posture orthostatique, 199
 – du mouvement, 262
 – postural, 51, 63, 82, 98, 194, 234
 – postural orthostatique, 165
 Convergence
 – podale, 83
 – tonique, 165
 Coordimètre, 54
 Coordimétrie de version, 200
 Coordinations inter-sensorielles, 56
 Coût
 – énergétique, 196
 – énergétique de la stabilité, 196
 Crainte d'une chute, 231
 Curseur, 187

D

Débattement de 6° du plateau, 229
 Debout, 229
 Déclinaisons du temps, 55
 Décubitus, 123
 Défaut
 – d'aplomb, 1, 166, 175, 176
 – d'occlusion, 91
 – de la vision, 167
 – de réfraction, 52
 Déficience
 – accommodative, 168
 – du système postural, 178
 Déficits sensoriels plantaires, 223
 Degrés de liberté des segments corporels, 69
 Délai des réponses, 266

- Dépendance visuelle, 119
 Dépense d'énergie, 175
 Dépistage des troubles de la posture, 120
 Déséquilibre oculomoteur, 216
 Déséquilibres statiques et dynamiques, 177
 Déviation
 – basse, 89
 – cervicale, 88
 – de l'axe visuel inférieure à 4°, 158
 – haute, 89
 – horizontale de l'index, 121
 – lombaire, 88
 Diagnostic postural, 188
 Direction du regard, 54, 205
 Dissociation binoculaire, 200
 Dominance podale, 143
 Donnée anthropométrique, 94
 Douleur, 63, 123, 240
 – chronique, 70, 73
 – chronique de l'axe corporel, 193
 – chronique non spécifique (DCNS), 98
 – de l'axe corporel, 194
 – plantaire, 177
 Droite de régression « Tension/Contraction », 195
 Durée d'appui unipodal, 270
 Dynamomètre, 96
 Dysfonction, 63, 224
 – cinématique, 118
 – mandibulaire, 94
 – manducatrice, 133
 – neurale, 109
 – posturale, 94
 – proprioceptive, 131
 – systématisée généralisée (DSG), 117
 Dymorphoses podales, 177
- E**
- Échelle visuelle analogique (EVA), 179, 187
 Effecteur musculaire, 69, 263
 Effet
 – d'un traitement ostéopathique sur les globes oculaires, 227
 – de l'étirement de l'ATM, 227
 – de stimulations plantaires, 234
 – papillon, 8, 215
 – prismatique, 168
 – sur le contrôle oculomoteur, 237
 Efficacité
 – d'un stimulus postural, 89
 – de la lecture rapide, 253
 – des stimulations posturales, 133
 EIAP, 172
 EME, 235, 236
 EMI, 235, 236
 Empaumer les talons, 123
 Empreinte
 – du pied, 89
 – plantaire, 90
 Endo-capteur, 35, 52, 54, 82
 Enfants dyslexiques, 165
 Enquête épidémiologique, 248
 Ensemble pied-cheville, 223
 Entrée
 – du SPA, 81
 – du système, 119
 – du système postural d'aplomb, 155
 – otolithique, 35
 – podale, 35, 88, 180
 – visuelle, 35, 89, 119, 124, 127, 133
 – visuelle du système postural d'aplomb, 51
 Entrées
 – céphaliques, 35
 – du SPA, 129, 189, 213
 – sensorielles, 58
 EPD, 108
 Épines irritatives d'appui plantaire, 112, 175
 – conscientes (EIAP), 63
 – inconscientes (EIAPI), 63
 Épineuse
 – de C7, 249
 – de L4, 134
 Épreuve
 – posturo-dynamique, 105, 108, 109, 116, 118
 – posturo-dynamique globale, 110
 – posturologique standardisée, 207
 Épreuves dynamiques, 151
 Équilibre, 36, 48, 59, 138
 – binoculaire, 202
 – dynamique, 196
 – en appui unipodal, 264
 – oculomoteur, 98
 – statique, 155, 196
 – tonique, 69, 227
 Espace
 – corporel, 50
 – d'action, 57
 – des phases, 216, 217
 – extra-corporel, 50
 État tonique, 81, 88
 Étirement
 – des muscles oculomoteurs, 127
 – unilatéral de l'ATM, 126
 Étude
 – anatomique, 74
 – du déséquilibre antéro-postérieur, 265
 – du pendule inversé, 122
 – épidémiologique, 269
 – longitudinale, 252

- multicentrique, 91, 129
- prospective, 271
- statique, 121
- statistique de la stabilométrie, 126
- transversale, 247
- Évaluation
 - clinique d'un traitement ostéopathique, 226
 - clinique fonctionnelle du système d'aplomb, 122
 - du sujet âgé chuteur, 269
 - instrumentale, 263, 270
- Évaluer et/ou quantifier les asymétries du corps, 85
- Événements de la vie du patient, 189
- Éventail de techniques, 224
- Évolution de la posture, 247
- Examen
 - analytique, 109
 - clinique, 79, 81, 82, 108, 124, 187, 269
 - clinique de l'aplomb, 119
 - clinique des asymétries posturales, 154
 - clinique postural, 64, 69, 83, 94
 - clinique rigoureux, 179
 - d'un sujet couché, 128
 - du SPA, 155
 - global (EPD), 243
 - neuro-orthopédique, 269
 - posturo-dynamique (EPD), 108, 133, 239
- Exo-capteur, 35, 52, 54
- Exo-entrée du système postural, 178
- Expérience clinique, 176
- Exploration du panorama, 54

F

- Facteur déclenchant, 238
- Fiabilité, 154
- Fil à plomb, 179
- Flexion latérale, 107
- Flux visuel, 52
- Fonction
 - biomécanique, 171, 173
 - musculaire non linéaire, 70
 - otolithique, 40
 - posturale du pied, 206
 - sensorielle, 171
- Fonctions
 - cognitives, 56
 - du trijumeau, 17
 - extéroceptives, 51
 - mnémoniques, 56
 - motrices, 44, 45
 - sensibles, 44, 45
- Forces
 - antagonistes, 4
 - musculaires, 4

Forme

- à choix multiples, 202
- libre, 201, 202
- Fuseau neuromusculaire, 44, 45
- Fusion
 - accommodative, 202
 - binoculaire, 202

G

- Gabarit, 248
 - podal, 85, 86
- Gain de sensibilité plantaire, 222
- Gains
 - des réflexes nucaux, 154
 - nucaux, 157
- Géométrie des surfaces articulaires, 69
- Goniomètre, 87, 92, 126, 151
- Gravité, 40

H

- Hallux valgus, 95, 96, 179
- Harmonie pelvi-pédieuse, 94
- Harmonisation des asymétries, 159
- Hess-Weiss postural, 203
- Hétérophorie, 201
 - verticale (HV), 16, 98, 99
- Homéostasie, 224
- Homme debout, 177
 - immobile, 216
- Hypercontrôle, 120
- Hypertonie
 - des muscles paravertébraux, 198
 - relative des muscles rotateurs, 124

I

- Impact de l'ostéopathie, 228
- Inclinaison
 - des pieds vers l'axe corporel, 123
 - latérale, 107
- Indice de similitude, 218
- Inefficacité des afférences podales (IAP), 238
- Influence de la mousse, 172
- Information
 - afférente, 82
 - fiable, 129
 - multimodale, 58
 - musculaire, 50
 - plantaire, 63
 - posturale, 69
 - proprioceptive, 167
 - sur la position du corps, 35
 - visuelle, 50
- Instabilité, 193
- Intégralité fonctionnelle des systèmes, 122

Intégration
– des afférences sensorielles posturales, 231
– sensorielle, 36, 199
Interaction saccade-vergence, 55
Intercuspitation, 127, 227
Interfaçage pied-support, 206
Interférence mandibulaire, 124, 127, 189
Interposition
– d'un bristol, 125
– d'un plan de morsure, 125
– d'une mousse, 171, 175
Interprétation, 81, 82, 88, 116, 135, 203
Interrogatoire, 81, 127, 189, 191
Intuitions physiologiques, 238
Items spécifiques, 189

J

Jeu de la position primaire, 233
Jouet, 232

L

L4, 85, 87, 91
Langage, 59, 109, 194, 229
Latéralisation fonctionnelle, 28
Latéralité, 22
– fonctionnelle, 89
– oculaire, 89
– podale, 89
Leçon de « posturologie appliquée », 229
LFH, 95, 97
Limitation de la cinématique, 129
Limites de normalité, 194
Loi des Canaux, 154, 205
Lombalgies mineures, 232
Long fléchisseur de l'hallux (LFH), 95

M

Maddox, 98
Maintien
– de la posture, 177
– de la stabilité, 262
– de la station debout, 93
– en appui bipodal, 270
– en tandem, 270
Manipulation, 81, 221
– d'une entrée du système postural d'aplomb, 7, 69
– des afférences plantaires, 234
– des entrées, 221
– du système postural, 134
– ostéopathique, 224
Manœuvre, 14
– de convergence podale (MCP), 122, 129, 130
Manque de rigueur, 129

Massage plantaire, 223
Matériel
– ergonomique, 248
Maturation du système
– de l'équilibre, 251
– postural d'aplomb, 260
MCP, 15, 131
Mécanique d'une articulation, 81
Mesure
– des asymétries posturales, 185
– des forces, 193
– directe, 85
Mesurer l'intensité de la douleur, 187
Méta-analyse des études, 269
Méthode, 201
Méthodologie, 83, 248
Métronome, 152, 248
Mise
– en « flexion », 225
– en intercuspitation, 127
Mobilité physiologique, 224
Modalités sensorielles, 58
Modèle
– biomécanique, 4, 193, 194
– conceptuel, 238
– des systèmes empiriquement constatés, 59
– expérimental d'une plate-forme, 135
– interne, 59
– simpliste du « muscle ficelle », 70
Modification tonique, 83, 124, 126
Mort aux chutes, 232
Motif de consultation, 191
Mousse, 174, 178, 221
Mouvement
– antéro-postérieur, 120
– de vergence, 163
– oculaire, 163
– ventilatoire, 198
Muscle ficelle, 70
Muscles, 43, 45, 166
– cervicaux, 164
– des yeux, 164
– fléchisseurs, 96
– oculomoteurs, 163, 205
– rotateurs, 98

N

Navigation, 52
Nerf
– accessible, 241
– commande du muscle, 241
– étiré, 241
Neurostimulations
– instrumentales, 239, 241
– manuelles, 239

Niveau

- cervical, 111
- dorsal, 110
- du quadrilatère pelvi-pédieux, 112
- du rachis cervical, 133
- lombaire et pelvi, 109

Non opérateur dépendant, 200, 205

Non-proportionnalité facteur/effet, 221

Normalisation

- de la stabilométrie clinique, 194
- des paramètres, 264

Normalité

- homéostasique, 224

Normes, 188

- et valeurs de référence, 188
- latines de stabilométrie, 194, 200

Normes 85, 188, 199

Notation, 88, 139

O

Objectifs, 207

Objectivation d'anomalies toniques, 160

Objectiver

- les capacités fonctionnelles, 239
- l'hypertonie, 130

Odontologiste, 21

Œil

- directeur, 86
- dominant, 55
- fixateur, 200
- localisateur, 201
- oculomoteur, 54
- proprioceptif, 54
- rétinien, 54

Offre

- en métrologie du pied, 209
- thérapeutique, 206

Opérateur dépendant, 122, 133

Ordre

- chronologique, 189
- d'apparition des symptômes, 189

Organes

- des sens, 44
- moteurs, 44

Organicité, 224

Organisation

- de sa posture, 62
- des hypertonies, 105, 116
- du pied, 208
- systématique, 119

Orientation, 55

Orthèses, 97

- biomécaniques, 179
- plantaires, 177, 179

Orthopédie verticale (OV), 98, 99

Outil

- clinique, 205
- d'évaluation, 207
- diagnostique, 221
- thérapeutique, 180

P

Palpation, 108, 127

Parabole, 217

Paradigme

- du « muscle ficelle », 70
- ostéopathique, 159, 228

Paramètre

- AfS, 197
- AfY, 194, 195
- d'accélération du centre de gravité, 196
- de déplacement du centre des pressions, 264
- distance de fixation, 51
- oscillatoire, 172
- social, 258
- stabilométrique, 63, 97, 174, 179, 194
- X-moyen, 194
- Y-moyen, 194

Pathogénie arthrosique, 224

Patient postural, 188

Pendule inversé, 93, 143, 193, 206

Perception

- d'un mouvement, 48
- des détails, 53
- du relief et de la distance, 98
- simultanée, 200

Perturbation

- des capteurs extéroceptifs et proprioceptifs, 262
- nociceptive, 172
- systémique, 109

Phase intermédiaire de *no man's land*, 224

Phénomène de complétion, 56

Phories verticales, 99

Physiologie de l'aplomb, 35

Pied, 59

- d'appui, 24
- moteur, 139, 141, 142, 254–256
- nu, 92, 95, 174
- pilier, 139–142, 254, 255
- pivot, 24
- postural, 208
- postural dominant, 143

Place de référence, 154

Plaintes, 191

- du patient, 84

Plan

- biomécanique, 174

- de Barré, 86
- de morsure, 126, 158, 165
- frontal, 86, 88, 107, 119, 194
- horizontal, 107, 108, 119
- sagittal, 85, 86, 194
- sagittal intermalléolaire, 248
- sensoriel, 174
- transversal, 129
- Plasticité cérébrale, 49
- Plateau, 229
 - de rééducation, 229
 - de rééducation posturale, 230
 - pour éduquer, 229
- Plate-forme, 125
 - mobile, 173
 - normalisée, 194
- Podométrie, 206
- Podoscope, 92, 137
- Polygone de sustentation, 155, 196
- Portion médiane verticale centrale du champ visuel, 53
- Position
 - adoptée spontanément, 209
 - confortable, 122
 - debout orthostatique, 51
 - des index, 249
 - des pieds sur la plate-forme, 230
 - moyenne, 236
- Posture, 59
 - du corps, 44
 - mandibulaire, 95
 - orthostatique, 60, 62, 63, 118, 120
- Posturographie
 - dynamique, 42, 265
 - statique, 264
- Posturologie, 127
 - clinique, 216
- Posturologue, 122
- Posturo-thérapie neurosensorielle (PNS), 109, 129, 239
- Pouvoir de prédiction, 218
- Pratique de la saturation, 242
- Précision de la stabilité, 196
- Prédire les crises vertigineuses, 218
- Prendre conscience de son système postural d'aplomb, 229
- Prépondérance du gain nucal, 126
- Presbytie, 57, 167
- Preuves expérimentales de l'influence des afférences podales, 238
- Prévalence
 - des gains nucaux, 151
 - du test de Fukuda, 227
 - tonique, 151
- Prévention des chutes, 223

- Principes de la podométrie, 206
- Prise en charge
 - corticale du contrôle postural, 198
 - posturale, 209
- Prisme, 132, 165, 166, 203
 - de faible puissance, 205
 - postural, 15, 154, 205
- Procédure, 85, 89, 100, 119, 123, 134
 - clinique, 15
 - fiable, 125
- Proprioception, 18
 - musculaire, 43, 45, 48, 51
- Protocole, 227
 - clinique, 225
 - thérapeutique, 205
- Protocole Hess-Weiss postural, 203
- Prudence dans l'interprétation, 207
- Psychologie cognitive, 58

Q

- QP, 176
- QSC, 226
- Quadrilatère pelvi-pédieux, 107
- Qualifier, 81
- Quantifier, 81
- Questionnaire, 179
 - postural, 189
- Quotient
 - de Romberg (QR), 62
 - de symétrie cervicale, 225
 - du Romberg (QR), 165, 175
 - plantaire (QP), 62, 174, 222
 - visuo-podal, 174
- QVP, 176

R

- Rachialgie, 177
 - cervicale, 97
- Rachis
 - cervical, 75
 - cervical inférieur, 107
 - lombaire, 75
 - sous-occipital, 107
- Réactions
 - d'équilibration, 135
 - musculaires disto-proximales, 136
- Réactivité tonique, 82
- Réalité anatomique, 70
- Recherche
 - clinique, 81, 83, 178
 - d'une pathologie évolutive, 270
- Rééducation, 49
 - de la sensibilité cutanée plantaire, 222
 - de la sensibilité plantaire, 223
 - vestibulaire, 42

Référence de verticalité, 53

Référentiel

- égo-centré, 262
- stable, 62

Réflexe

- cutané plantaire, 131
- d'évitement, 177
- de la vergence, 164
- lingual, 131
- moteur-oculaire, 131
- nu-cal, 13, 15, 131, 132, 152
- oculomoteur, 15, 132
- postural, 81
- tonique postural, 151

Réflexes, 131

- posturaux, 41, 14, 106

Réfraction, 166

Règle graduée, 121

Régulation

- de l'activité tonique posturale, 216
- de la posture, 60
- du tonus postural, 20
- posturale, 11, 36, 48, 94, 129, 171, 175

Repère

- cutané, 85, 88
- visuel, 134

Répétabilité, 81, 125

- d'un test « isolée », 81
- de réponse, 125
- des paramètres stabilométriques, 199
- isolée et partagée, 89
- partagée, 81

Réponse

- musculaire, 174
- musculaire à l'étirement, 173
- musculaire adaptée, 51
- posturale, 48, 60, 119, 120
- tonique, 81, 82, 122, 131, 221

Réponse motrice

- en situations de déprivation sensorielle, 266

Représentation, 56

- corporelle, 262
- du corps, 43
- mentale, 52, 54, 59

Reproductibilité, 105, 151, 203, 264

- de l'épreuve posturo-dynamique, 108
- interpraticien, 108, 129
- isolée, 129

Reproductibles, 129

Reprogrammation, 63

Résistance

- à l'étirement, 131
- du tonus des muscles, 124

Restrictions de mobilité, 69

Résultats statistiques des techniques
manuelles, 128

Rigueur du protocole, 154

Risque de chute, 138, 142, 270

Rôle biomécanique, 143

Romberg postural, 118, 120–122

Rotation

- automatique, 107
- axiale, 119, 120
- cervicale, 98
- de la ceinture scapulaire, 88
- des ceintures, 87
- du bassin, 119
- interne, 94, 108
- pelvienne, 87

S

Schéma corporel, 59, 177

Semelles

- à picots, 223
- antalgiques, 177
- biomécaniques, 179
- de biofeedback, 223
- de posture, 179
- neurologiques, 179
- orthopédiques, 63, 177, 179, 180
- posturales, 179
- proprioceptives, 63
- thermoformées, 63, 178

Sens

- du mouvement, 51
- stéréoscopique, 51, 53

Sensations vertigineuses, 193

Sensibilisation centrale, 116

Sensibilité

- kinesthésique, 43
- musculaire, 50
- plantaire, 234
- proprioceptive, 43, 118

Série temporelle, 217

Sidération, 243

Signal

- mécaniquement « clair », 4, 194
- proprioceptif, 46
- stabilométrique, 198

Signes fonctionnels, 52, 169

Situation, arbitraire et répétable, 85

SNC, 175, 193

Soins de pédicurie, 178

Sole plantaire, 62, 171, 174, 177, 221

Somesthésie cutanée tactile, 175

SPA, 82, 88, 89, 124, 229

Spectre d'amplitude, 225

Sphère

- mandibulaire, 227
- trigéminal, 89

Spin, 151, 154

Stabilisation, 195
 – du corps, 55
 Stabilité, 60, 82, 138, 165, 168, 175, 196
 – du corps debout au repos, 193
 – orthostatique, 166
 – posturale, 51, 89
 – statique et dynamique, 193
 Stabilométrie, 82, 91, 96, 97, 165
 – clinique, 193
 – en posturologie, 193
 – normalisée, 194
 Stabilométrique, 125
 Standardisation, 83
 – du polygone de sustentation, 208
 Standardiser l'épreuve, 152
 Station
 – debout, 122, 193
 – debout immobile, 264
 – debout unipodale, 265
 – orthostatique, 64
 Statistiques anthropologiques, 206
 Statokinésigramme, 172
 Stimulation
 – manuelle, 239
 – mécanique, 240
 – plantaire, 63, 131, 133, 178, 179
 – posturale, 132
 – somesthésique plantaire, 165
 – vibratoire, 49
 Stratégies
 – d'équilibration, 135
 – d'équilibre, 252
 – de cheville, 136
 – de hanche, 135, 223
 – pour l'action, 56
 – sensorimotrices, 223
 – vicariantes, 62
 Structure à trois arches, 61
 Subjectivité de ce type d'examen, 129
 Sujet debout, 128
 Surcharge de travail mécanique du pied, 209
 Surface d'une ellipse de confiance, 196
 Surfaces articulaires, 76
 Symétrie de la position de ses pouces, 134
 Symptômes, 122, 189
 – subjectifs, 193
 Syncinésie accommodation/convergence, 167
 Syndrome de déficience posturale, 117
 Syndromes
 – chroniques, 116
 – posturaux, 116
 Synergie, 164
 Synergies
 – des muscles spinaux, 107
 – musculaires, 263

Système
 – d'aplomb, 155, 215
 – de maturation, 251
 – du muscle trapèze, 75
 – dynamique non linéaire, 8, 82, 215, 216
 – musculaire complexe, 69, 70
 – nerveux central, 50, 51, 60, 163, 199, 262
 – otolithique, 42
 – postural d'aplomb, 36, 97, 205, 216
 – trigéminal, 16
 – visuel, 52

T

T12, 134
 T4, 134
 T8, 134
 Table de diodes, 235
 Tactique
 – de cheville, 93, 122
 – de hanche (TCG), 122, 139, 223
 – de pied (TCP), 139, 223
 – du centre de gravité (TCG), 136
 – du centre de pression (TCP), 136
 – posturale, 119
 TAU, 139
 TCG, 136, 140
 TCP, 136, 140
 Technique
 – faciale crano-sacrée, 225
 – faciale, 226
 – haute vélocité, 225
 – ostéopathique, 225
 Temps
 – d'appui unipodal, 138, 140, 270
 – de réaction, 193
 – de réaction du système postural d'aplomb, 197
 – de station unipodale, 142
 Tenir
 – debout, 4, 193
 – droit debout, 35
 Test
 – d'antépulsion passive (TAP), 135, 136, 139, 270
 – d'antériorisation active (TAA), 135, 137
 – de Fukuda, 126, 127
 – de Hess-Weiss, 200, 205
 – de latéralité podale, 142
 – de l'écran alterné, 203
 – de Maddox, 99, 200
 – de nage, 158
 – de piétinement, 126, 127, 151, 155, 205
 – de piétinement de Fukuda, 7, 248
 – de positionnement des index de Baron, 119, 120

- de résistance du gros orteil, 95
- de Romberg, 120, 248
- de station unipodale, 143
- des barorécepteurs plantaires, 132, 133
- des Index (Romberg), 24
- des pouces, 133, 134
- des pouces sur toute la hauteur du rachis, 133
- des rotateurs, 83, 122, 123, 125, 129, 154, 227
- du piétinement, 129
- du positionnement des index, 118
- du temps de station unipodale, 138
- postural, 221
- posturo-dynamique, 63, 91, 179
- subjectif, 200
- validé, non invasif, reproductible, 205
- Tests, 14, 81
- cliniques, 88, 122, 188, 248
- de latéralité, 25
- dynamiques, 157
- posturo-cinétiques, 105
- statiques, 85
- Théorie des systèmes, 3
- Thérapeute spécialisé, 221
- Thérapie manuelle, 239
- Tonus, 76, 82, 122, 227
- de base, 195
- de posture, 63
- des muscles rotateurs, 123, 131
- des muscles rotateurs du sujet, 124
- des rotateurs, 124, 165
- musculaire, 8, 63, 105, 151
- postural, 105
- Traitement, 81, 160, 176
- de la lombalgie chronique, 179
- des endo-entrées proprioceptives, 229
- efficace, 64
- manuel, 76, 84
- manuel des globes oculaires, 128
- ostéopathique, 224, 243
- par orthèses plantaires, 174
- postural, 189
- postural par neurostimulations instrumentales, 129
- spécifique, 127
- spécifique des globes oculaires, 227
- Translation
- antéro-postérieure, 135
- et rotation, 119
- pelvienne, 108
- Travail d'autorééducation, 73
- Trois roulades avant les yeux fermés, 155, 259
- Troubles
- cognitifs, 157

- des apprentissages, 109
- fonctionnels, 224
- fonctionnels du système postural d'aplomb (SPA), 2
- morphologiques, 180
- rachidiens, 89
- Types
- de semelles, 179
- de vergence, 164
- d'exploration clinique, 128
- Typologie, 248–250, 258

V

- Valeurs
- de référence, 84, 88, 93, 121, 194, 249
- moyennes de l'angle tibio-tarsien, 91
- Valgus, 92
- calcanéen, 94
- Validation, 83, 138
- Variation
- anormale du tonus des rotateurs, 124
- d'angulation, 124
- de pression, 171, 173
- du tonus, 154
- significative, 127
- tonique, 127
- Vécu subjectif de leur mal-être, 193
- Vergence, 55, 163, 237
- accommodative, 164
- active, 166
- proximale, 164
- tonique, 164
- verticale, 164, 166
- Verres progressifs, 168
- Versions en saccades, 55
- Verticale
- de Barré, 85, 91, 248
- de gravité, 97, 194, 196
- visuelle subjective (VVS), 42
- Vertiges des hétérophoriques, 245
- Vibrations
- mécaniques, 47
- Vidéo-oculographe, 235
- Vieillesse, 267
- du contrôle postural, 262
- Vision
- binoculaire, 51, 98
- centrale, 53
- dynamique, 54
- périphérique, 53
- stéréoscopique, 98
- Visuo-dépendants, 57
- Vitesse de transmission, 239
- Voies neuronales, 239

Y

Yeux

- fermés, 125
- ouverts, 96, 125

Z

Zone

- centrale du champ visuel binoculaire, 54
- douloureuse, 178, 179

BIBLIOTHEQUE DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SCIENCE MEDICALE